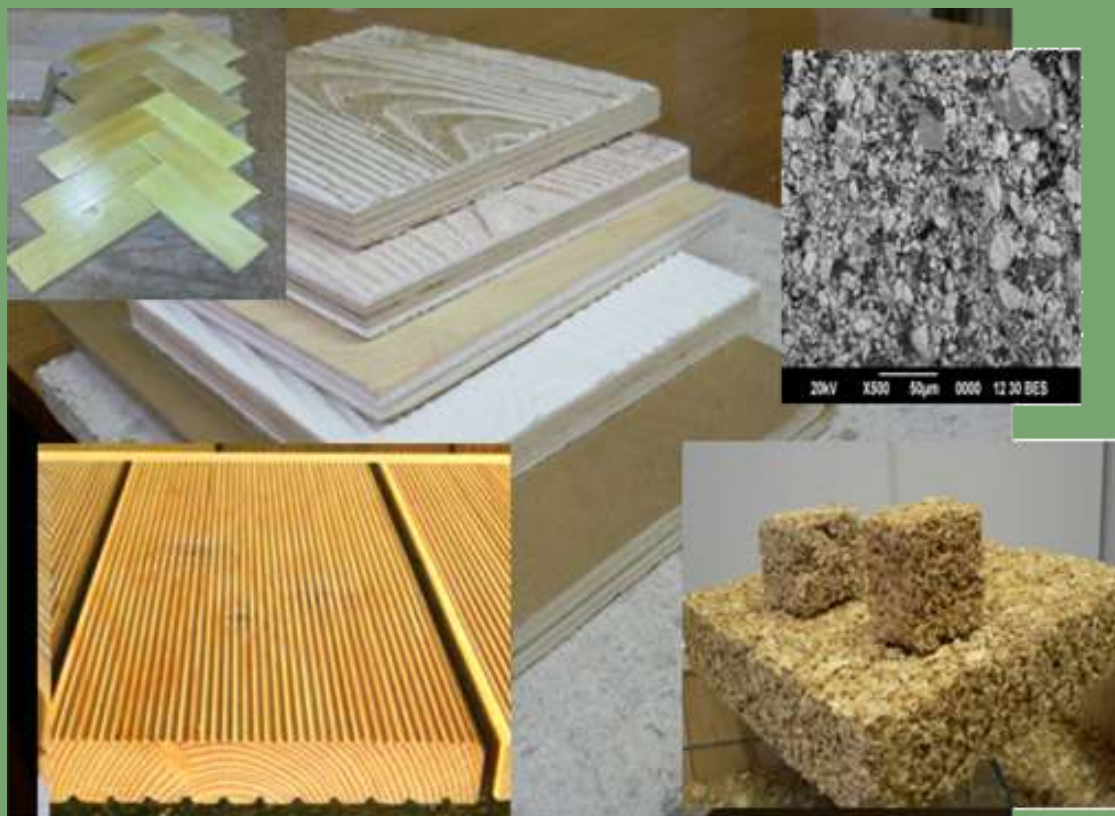




Ю.И. Ветошкин
И.В. Яцун
И.В. Коцюба

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСИНЫ



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный
лесотехнический университет»

Ю.И. Ветошкин
И.В. Яцун
И.В. Коцюба

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСИНЫ

Монография

Екатеринбург
2018

УДК 674.8:630.812

ББК 37.133.6

В 39

Рецензенты:

Генеральный директор ООО «Уралгипролеспром» П.С. Власов

ООО «БиКдрев» начальник производства А.Л. Мамаев

Ветошкин, Ю.И.

В 39 Эксплуатационные свойства композиционных материалов на основе древесины: монография / Ю.И. Ветошкин, И.В. Яцун, И.В. Коцюба. Екатеринбург: УГЛТУ, 2018. – 100 с.

ISBN 978-5-94984-684-1

В монографии представлена информация о конструкциях разнообразных композиционных материалов на основе древесины. Эти материалы получены в результате экспериментальных и теоретических обоснований возможности их создания с использованием различных составляющих компонентов. Разработанные материалы являются новыми направлениями в создании конструкций, расширяющих возможности использования древесины и ее отходов.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Уральского государственного лесотехнического университета.

УДК 674.8:630.812

ББК 37.133.6

ISBN 978-5-94984-684-1

© ФГБОУ ВО «Уральский государственный
лесотехнический университет», 2018

© Ветошкин Ю.И., Яцун И.В.,
Коцюба И.В., 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. КОМПОЗИЦИОННЫЙ СЛОИСТЫЙ МАТЕРИАЛ «ФАНОТРЕН».....	8
1.1. Особенности конструкции материала.....	8
1.2. Теоретические предпосылки создания конструкции слоистого материала на основе древесины.....	9
1.3. Материалы, используемые в экспериментах, и их характеристика.....	17
1.4. Создание конструкции слоистого материала на осно- ве древесины.....	22
1.5. Исследование влияния рецептуры пропитывающего состава на рентгенозащитные свойства армирующего слоя.....	23
1.6. Исследование влияния режимных параметров прессования слоистого материала на его физико-механические свойства.....	29
2. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ.....	34
3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЯГКОЛИСТВЕННЫХ ПОРОД ДРЕВЕСИНЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПАРКЕТА.....	41
3.1. Способы улучшения физико-механических свойств древесины.....	42
3.2. Материалы, применяемые для получения модифицированной древесины.....	51
3.3. Процесс полимеризации наполнителя при модификации древесины.....	54
3.4. Применение модифицированной древесины.....	55
3.5. Теоретические предпосылки получения материала с улучшенными свойствами.....	58
3.6. Материалы, используемые в экспериментах, и их характеристика.....	66
3.7. Исследование влияния метода пропитки на глубину проникновения агента в граничные слои древесины.....	67
3.8. Определение метода пропитки древесины.....	69

3.9. Исследование влияния вязкости пропитывающего агента на степень проникновения его в древесину....	74
3.10. Исследование влияния массового привеса смолы в древесине на величину ее прочностных свойств.....	77
4. ТЕРМИЧЕСКИ ОБРАБОТАННАЯ ДРЕВЕСИНА (ТМД)....	81
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	95
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	97

ВВЕДЕНИЕ

Леса России – это богатство страны. Грамотный, рациональный подход к эксплуатации таких природных ресурсов – залог сохранения экологического равновесия в природе, здоровья человека, флоры и фауны.

Заготовка и переработка древесного сырья требует современных технологий на всех ее этапах как в обработке, так и в хранении сырья, полуфабрикатов и готовой продукции.

В настоящее время одной из наиболее важных задач на предприятиях в условиях рынка является экономия лесоматериалов и более комплексная переработка древесного сырья, расширение использования древесины. Известно, что отходы различных деревоперерабатывающих производств, по сути, тоже сырьевые материалы, из которых можно изготавливать широкий спектр полезных изделий самого различного назначения. Это могут быть плитные материалы различного назначения: арболит, фибролит, лигноуглеводные пластики, пьезопластики, коропласт и др. Это могут быть и изделия из древесноклеевых композиций (оконные коробки, щитовые двери, рельефно-профильные декоративные изделия и др.), строительные материалы (бетонные блоки, бризолит, опилкобетон и др.).

Расширение области применения древесины и древесных частиц в производстве различной продукции решает многие важные проблемы в области утилизации отходов, защите окружающей среды от загрязнения и захламления.

Еще одним из путей решения проблемы комплексной переработки древесины является ее модификация, которая позволяет улучшить свойства древесины, придать ей новые положительные качества, устранить природные недостатки для более широкого и полного использования в промышленности. Модифицированная древесина представляет собой новый материал, в котором сохраняется анатомическое строение древесины, но значительно повышаются её физико-механические свойства. Различные виды модифицированной древесины находят применение не только как заменители того или другого материала, но и как полноправные и перспективные композиционные материалы.

В представленной монографии рассмотрены конструктивные особенности и физико-механические свойства разнообразных материалов на основе древесины, выявленные в результате экспериментальных

и теоретических обоснований возможности их создания с использованием различных составляющих компонентов [1–45].

В работе представлены разнообразные композиционные материалы, полученные на основе древесины:

1) «Фанотрен» – рентгенозащитная фанера, которую планируется использовать в строительстве и отделке помещений с повышенным радиационным фоном, в элементах мебели и защитных экранах, ширмах и т. д.;

2) теплоизоляционный материал для каркасного домостроения на основе силикатных вяжущих, который возможно использовать в ограждающих конструкциях;

3) модифицированная древесина мягколиственных пород, предназначенная для производства паркета, которая получена путем пропитки древесины полимерными пропитывающими составами;

4) ТМД – термомодифицированная древесина. Представляет собой специальную технологию термической обработки различных пород древесины, предназначенную для придания древесине устойчивости к воздействию факторов внешней среды, стабильности ее геометрических размеров.

1. КОМПОЗИЦИОННЫЙ СЛОИСТЫЙ МАТЕРИАЛ «ФАНОТРЕН»

1.1. Особенности конструкции материала

Резкое различие свойств массивной древесины в зависимости от направления волокон отрицательно влияет на возможности ее применения для различных целей. Одной из важнейших задач в создании композиционного материала «Фанотрен» является получение материала с наибольшей равнопрочностью в направлениях плоскости листа [1].

Основной конструктивный элемент фанеры – тонкий слой древесины (шпон), полученный преимущественно лущением. Такие слои, склеенные между собой в определенном порядке, иногда в композиции с другими материалами, образуют слоистый материал – фанеру.

Листы фанеры должны обладать определенными физико-механическими свойствами и иметь плоские поверхности. Добиться этого можно формируя листы фанеры по определенному принципу.

Основной принцип композиции фанеры – правило симметрии. С каждой стороны от центральной оси симметрии по толщине должно быть одинаковое число слоев шпона. Оси симметрии этих слоев должны находиться на одинаковом расстоянии от центральной оси симметрии. Отсюда следует, что симметрично расположенные слои должны быть одной толщины, из одной породы древесины или одного материала, а также должны иметь одинаковую влажность и направление волокон [2, 16–21, 27].

Для того чтобы наружные слои фанеры имели одинаковое направление волокон, число ее слоев обычно нечетное, т. е.: 3, 5, 7, 9, 11, 13 и т. д. Кроме того, при четном числе слоев в клеевом слое при изгибе будут действовать максимальные касательные напряжения, которые при наличии дефектов склеивания могут привести к разрушению материала по клеевому слою. Волокна древесины в двух смежных слоях при такой конструкции пакета располагаются под углом 90° . Эти основные положения при изготовлении фанеры использованы при разработке конструкции композиционного материала «Фанотрен».

Разработанный на кафедре МОДиПБ УГЛТУ композиционный слоистый материал специального назначения типа «Фанотрен» (фанера от рентгена) [3, 35] планируется использовать в строительстве и отделке помещений с повышенным радиационным фоном, в элементах мебели и защитных экранах, ширмах и т. д.

Для расширения сфер использования слоистых материалов специального назначения требуется знать прочностные характеристики материала. В конструкции композиционного слоистого материала использованы армирующие слои, которые выполняют роль рентгенозащиты и слои лущеного шпона, для придания эстетичности и универсальности материалу, а также для усиления прочностных свойства предлагаемого композиционного материала, что также усиливает прочностные свойства предлагаемого композиционного материала.

1.2. Теоретические предпосылки создания конструкции слоистого материала на основе древесины

Предел прочности при статическом изгибе – это одна из важнейших эксплуатационных характеристик слоистых композитных материалов, так как большая часть таких изделий испытывает в процессе эксплуатации деформацию статического изгиба и сжатия. При исследовании механических свойств прочностного характера фанеры с наполнителем в клеевом слое ставилась задача поиска определенной математической модели, основанной на результатах эксплуатационных исследований. Эта модель позволяет получить объект, поведение которого под нагрузкой можно описать математическим уравнением [4–7, 28–30].

Дифференциальное уравнение в частных производных для прямоугольной пластины решается в рядах, где в качестве переменных обычно берутся значения в прямоугольной системе координат (по x и по y).

Расчет пластин с прямоугольным сечением сложнее чем симметричных круглых, т. к. перемещения (прогибы) и напряжения несимметричных пластин определяются в функции не одного, а двух независимых переменных [5].

Если же пластина свободно опирается по четырем сторонам и находится под действием распределенной нагрузки p , то наибольший прогиб имеет место при $x = y = 0$, т. е.:

$$f_{\max} = \alpha \frac{p a^4}{E h^3}, \quad (1.1)$$

где α – коэффициент, зависящий от отношения a/b (где b – ширина пластины);

a – меньшая сторона пластины;

E – модуль упругости материала;

h – толщина пластины.

Формула (1.1) справедлива и для квадратной пластины со стороной a .

При расчете за основной силовой фактор принята величина максимального внутреннего изгибающего момента для определения предела прочности и максимального касательного напряжения при разрушении.

Максимальные изгибающие моменты M_x и M_y из расчета на единицу длины сосредоточены в одной точке и определяются по формуле:

$$M_{x(\max)} = \beta \rho a^2, M_{y(\max)} = \gamma \rho a^2, \quad (1.2)$$

где β, γ – коэффициенты для некоторых значений b/a при упругой постоянной материала $\mu = 0,3$. Значения приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Значения коэффициентов β, α, γ

$\frac{b}{a}$	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2	3	4	5	∞
α	0,0433	0,0616	0,0770	0,0906	0,1017	0,1106	0,1336	0,140	0,1416	0,1422
β	0,0479	0,0626	0,0753	0,0862	0,0948	0,1017	0,1189	0,123	0,1246	0,1250
γ	0,0479	0,0501	0,0506	0,0493	0,0479	0,0464	0,0404	0,0384	0,0375	0,0375

Если пластина закреплена по четырем краям, то максимальный прогиб также наблюдается в центре пластины (рис. 1.1).

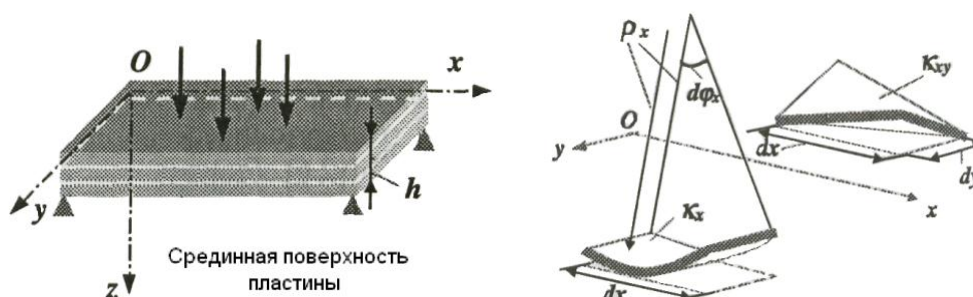


Рис. 1.1. Схема нагружения линейного элемента при деформации изгиба

Максимальный изгибающий момент возникает по серединам больших сторон, т. е. при $x = \frac{a}{2}$ и $y = 0$:

$$M_{x(\max)} = \beta_1 \rho a^2, \quad (1.3)$$

где β_1 – коэффициент для некоторых значений b/a при $\mu = 0,3$. Значения приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2

Значения коэффициентов α_1 и β_1

$\frac{b}{a}$	1	1,25	1,50	1,75	2	∞
α_1	0,0138	0,0199	0,0240	0,0264	0,0277	0,0284
β_1	0,0513	0,0665	0,0757	0,0817	0,0829	0,0838

Пластина – тело призматической формы, высота которого h сравнительно мала, с наименьшим характерным размером b .

Поскольку в настоящее время наибольшее практическое применение в разных отраслях промышленности находят слоистые пластины, то представляет интерес их расчет и испытания на величину статического изгиба.

У тонких пластин $f \ll h$ плоскость, параллельная основаниям и делящая расстояние между ними пополам, называется *срединной*. Оси координат x и y располагаются на срединной плоскости. Перемещения вдоль осей x , y обозначим u , v .

Ось z показывает направление внешних, поперечных изгибающих нагрузок, а f – направление прогиба пластины. Координатная система считается неподвижной. В основе теории прогиба пластин лежат следующие гипотезы Кирхгофа [4, 8]:

- срединная плоскость пластины искривляется, но не деформируется;
- любой линейный элемент, перпендикулярный срединной плоскости, остается перпендикулярным к ней и после изгиба, причем длина его не изменяется;
- продольные слои пластины не давят друг на друга (предел прочности $\sigma_z = 0$).

Эти гипотезы близки к гипотезам, на которых основывается теория изгиба балок, поэтому напряжения в пластинах распределяются так же, как и в балках при изгибе (рис. 1.2).

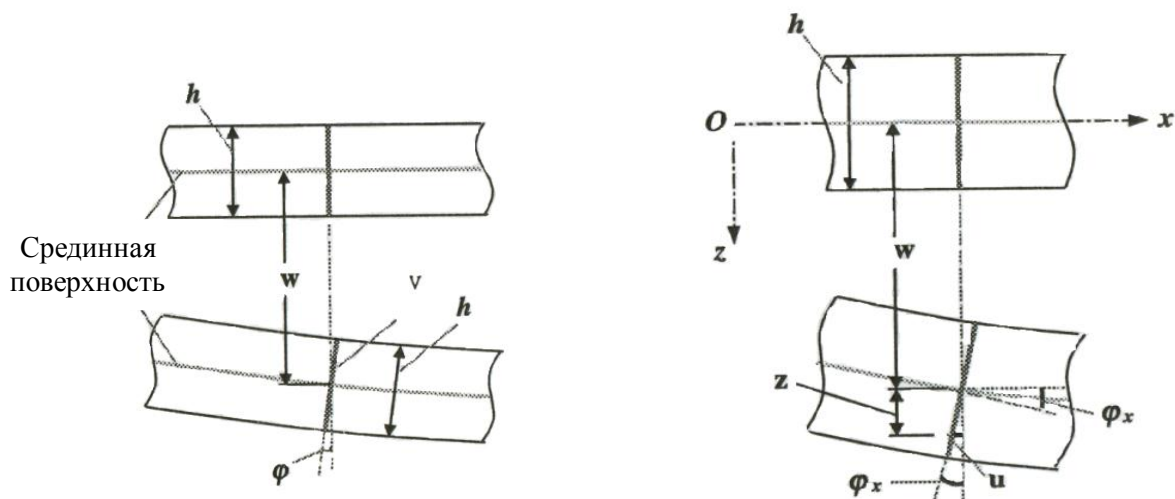


Рис. 1.2. Распределение напряжений в пластине при изгибе

Величины нормальных и касательных напряжений в пластинах определяются формулами:

$$\sigma_x = \frac{M_x}{I_x} z; \quad \sigma_y = \frac{M_y}{I_y} z, \quad (1.4)$$

$$\tau_{xz} = \frac{Q_x}{2I_x} \left(\frac{h^2}{4} - z^2 \right); \quad \tau_{yz} = \frac{Q_y}{2I_y} \left(\frac{h^2}{4} - z^2 \right), \quad (1.5)$$

где σ_x и σ_y – нормальные напряжения в пластинах;

M_x , M_y , Q_x , Q_y – изгибающие моменты и поперечные силы, отнесенные к единице длины пластины;

$I_x = \frac{bh^3}{12}$ – момент инерции для прямоугольника относительно оси x;

$I_y = \frac{b^3h}{12}$ – момент инерции для прямоугольника относительно оси y;

τ_{xz} , τ_{yz} – касательные напряжения в пластинах.

Изгибающие моменты и поперечные силы определяются при известной разрушающей функции прогиба $f = (x, y)$ из следующих зависимостей [4, 7]:

$$M_x = -D \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \right); \quad M_y = -D \left(\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} + \mu \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right), \quad (1.6)$$

$$Q_x = -D \frac{\partial}{\partial x} (\nabla^2 f); \quad Q_y = -D \frac{\partial}{\partial y} (\nabla^2 f), \quad (1.7)$$

где $D = \frac{E}{1-\mu^2} \frac{I_x b h^3}{12}$ – цилиндрическая жесткость пластины;

E и μ – упругие постоянные материала пластины;

∂ и ∇ – первые и вторые частные производные соответственно.

Изгиб пластины сопровождается её кручением с появлением крутящих моментов T, T_{xy} и вызываемых ими касательных напряжений τ_{xy} (рис. 1.3). Крутящий момент определим по формуле:

$$H = -D(1-\mu) \frac{\partial^2 f}{dx dy}, \quad (1.8)$$

где dx и dy – дифференциалы по переменным x и y .

Отсюда касательные напряжения равны:

$$\tau_{xy} = \frac{H}{I_x} z. \quad (1.9)$$

Функции прогибов f описывается уравнение Софи Жермен [4, 7]:

$$\nabla^2 \nabla^2 f = \frac{\partial^4 f}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 f}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 f}{\partial y^4} = \frac{1}{D} q(x, y), \quad (1.10)$$

где $q(x, y)$ – интенсивность распределенной по площади поперечной нагрузки на пластину.

При нахождении интеграла необходимо использовать граничные условия закрепления пластины:

1) для шарнирно-опорного края (грань СД):

$$\omega = 0; \quad \frac{d^2\omega}{dy^2}, \quad (1.11)$$

где ω – площадь эпюры.

2) для свободного края (грань ДА):

$$M_x = Q_x = H = 0; \\ \frac{d^2\omega}{dx^2} + \mu \frac{d^2\omega}{dy^2} = 0; \quad \frac{d^3\omega}{dx^3} + (2-\mu) \frac{d^3\omega}{dx dy^2} = 0. \quad (1.12)$$

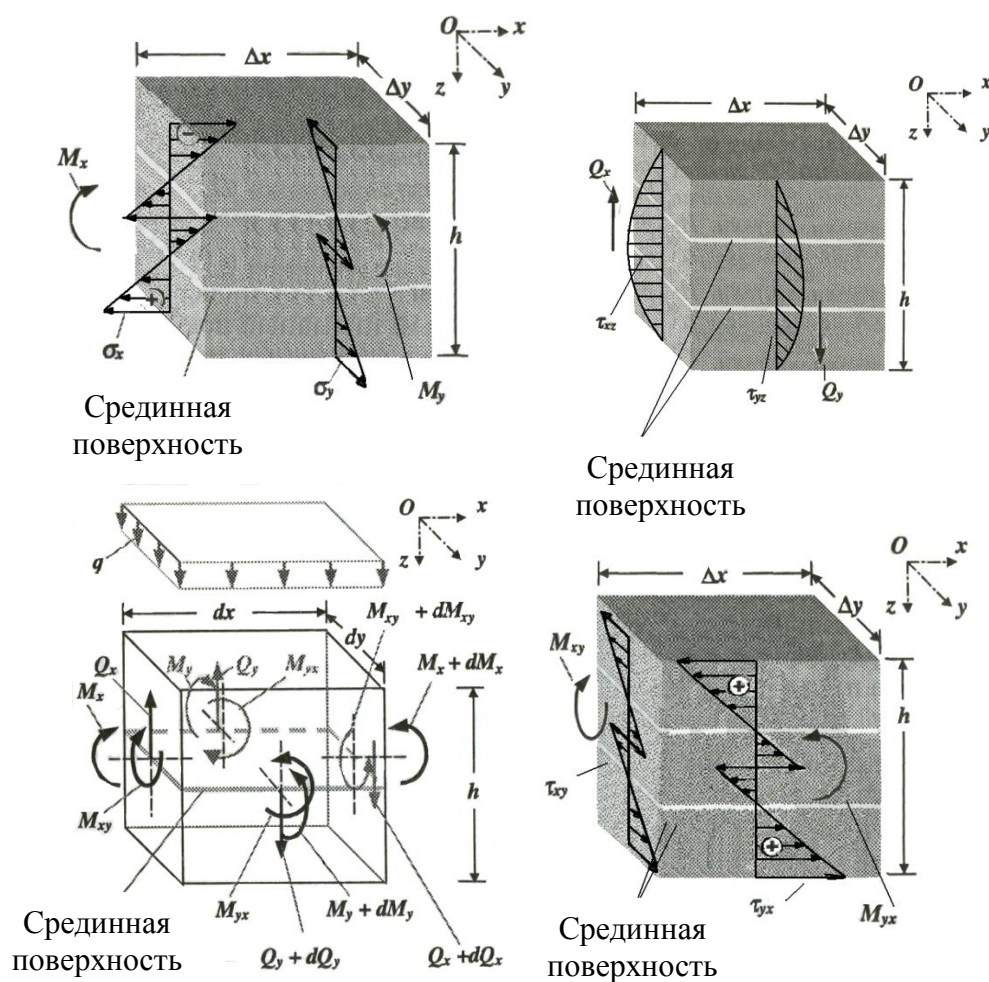


Рис. 1.3. Деформация в напряженной точке при изгибе пластины, характер изменения напряжений в точке и их эпюры

В лаборатории УГЛТУ был проведен эксперимент по определению величины предела прочности при статическом изгибе трехслойной конструкции слоистого материала специального назначения. Эксперимент проводился согласно ГОСТу 9625-87 (СТ СЭВ 2378-80) [9, 11]. Образцы рентгенозащитного материала в количестве 45 штук испытывали на испытательной машине ГМС-50 (с погрешностью измерения нагрузки не более 5 %). Нагружение осуществлялось с постоянной скоростью равномерно до полного разрушения образцов. Результаты испытаний представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3

Результаты лабораторных испытаний образцов
по определению величины предела прочности
при статическом изгибе слоистого материала

№ образца	Размеры образца, $b \times h$, м	Нагрузка разрушающая, F , кН	Изгибающий момент, M , кНм	Момент сопротивления, W , м ³	Предел прочности, σ , МПа
1	0,05 × 0,006	1,23	0,031	0,0000003	103
	0,05 × 0,006	1,38	0,035	0,0000003	103
	0,05 × 0,006	0,84	0,021	0,0000007	30
2	0,05 × 0,0065	0,56	0,014	0,00000031	45
	0,05 × 0,009	0,74	0,019	0,0000007	27,1
	0,05 × 0,009	0,70	0,018	0,0000007	25,7
3	0,05 × 0,0088	0,77	0,019	0,0000007	27,1
	0,05 × 0,009	0,62	0,016	0,0000007	22,9
	0,05 × 0,0068	0,38	0,01	0,00000039	25,6
4	0,05 × 0,0085	0,61	0,015	0,00000039	38,5
	0,05 × 0,006	0,43	0,011	0,0000003	36,7
	0,05 × 0,0095	0,63	0,016	0,0000008	20
5	0,05 × 0,0085	2,37	0,06	0,00000039	153,8
	0,05 × 0,0085	1,63	0,041	0,00000039	105,1
	0,05 × 0,006	1,27	0,032	0,0000003	106,7
6	0,05 × 0,016	3,98	0,099	0,0000002	50
	0,05 × 0,006	0,034	0,034	0,0000003	113,3
	0,05 × 0,0068	1,9	0,05	0,00000039	128,2
7	0,05 × 0,006	0,87	0,021	0,0000003	70
	0,05 × 0,006	1,1	0,027	0,0000003	81
	0,05 × 0,014	2,4	0,06	0,00000016	37,5
	0,05 × 0,009	1,1	0,027	0,0000007	81
8	0,05 × 0,006	0,95	0,024	0,0000003	80
	0,05 × 0,009	0,98	0,025	0,0000007	35,7
	0,05 × 0,009	0,98	0,02	0,0000007	28,6

Окончание табл. 1.3

№ образца	Размеры образца, $b \times h$, м	Нагрузка разрушающая, F , кН	Изгибающий момент, M , кНм	Момент сопротивления, W , м ³	Предел прочности, σ , МПа
9	$0,05 \times 0,006$	1,2	0,03	0,0000003	42,9
	$0,05 \times 0,009$	1,1	0,027	0,0000007	38,6
	$0,05 \times 0,009$	1,7	0,042	0,0000007	60
10	$0,05 \times 0,011$	3,1	0,078	0,000001	78
	$0,05 \times 0,0065$	1,54	0,04	0,00000035	114,3
	$0,05 \times 0,006$	1,24	0,03	0,0000003	100
11	$0,05 \times 0,008$	1,28	0,03	0,0000005	60
	$0,05 \times 0,006$	0,58	0,015	0,0000003	50
	$0,05 \times 0,008$	1,6	0,04	0,0000005	80
12	$0,05 \times 0,009$	1,1	0,027	0,0000007	38,6
	$0,05 \times 0,0068$	0,63	0,013	0,0000003	43,3
	$0,05 \times 0,006$	0,81	0,02	0,0000005	40
13	$0,05 \times 0,006$	0,95	0,024	0,0000007	34,3
	$0,05 \times 0,006$	0,76	0,019	0,0000003	63,3
	$0,05 \times 0,006$	0,93	0,023	0,0000008	28,8
14	$0,05 \times 0,0065$	1,1	0,027	0,0000007	38,6
	$0,05 \times 0,009$	1,2	0,029	0,0000003	96,7
	$0,05 \times 0,009$	1,4	0,04	0,0000007	57,1
15	$0,05 \times 0,009$	1,1	0,028	0,0000007	40
	$0,05 \times 0,0068$	1,1	0,027	0,00000039	69,2
	$0,05 \times 0,006$	1,1	0,027	0,0000007	38,6

При нагружении образцов на статический изгиб некоторые из них вели себя как упругие, а некоторые – как упруго-вязко-пластичные, поэтому за основу модели слоистого композитного материала «Фанотрен» с наполнителем, как показали результаты анализа предела прочности при изгибе, принята упруго-вязко-пластическая модель тела.

Мгновенная упругая деформация слоистого материала происходила за счет деформации слоя древесины (шпона) и тонкого слоя наполнителя, где скорость изменения деформации соответствовала скорости изменения нагрузки при изгибе, т. е. наблюдалась линейная зависимость.

Эластичная деформация, развивающаяся во времени, связана с вязким, все увеличивающимся сопротивлением аморфного слоя наполнителя и перемещением слоя древесины шпона относительно клеевого слоя слоистого материала. Относительные или простейшие

деформации, выявленные в процессе испытания образцов, объединяясь, создают зону локальной пластической необратимой деформации, в которой в дальнейшем и наблюдается разрушение. Пластические деформации так же, как и упруго-вязкие, развиваются во времени.

1.3. Материалы, используемые в экспериментах, и их характеристика

Для отработки рациональной рецептуры пропиточного состава и технологии прессования слоистого композиционного материала с рентгенозащитными свойствами «Фанотрена Б» проведены экспериментальные работы.

В ходе экспериментов использовались следующие сырье и материалы: шпон березовый лущеный (ГОСТ 99-86), сульфат бария $BaSO_4$ (ГОСТ 3158-75), связующие на основе поливинилацетатного клея (DIN EN 204), синтепон термоскрепленный (ТУ 63.5788957 ОП 16-90). Рассмотрим их более подробно.

Шпон березовый лущеный применяется в конструкции материала в качестве матрицы. Влажность шпона составляет $8 \pm 2 \%$ при толщине 1,5 мм. Характеристика его основных физико-механических свойств представлена в таблице 1.4.

Таблица 1.4

Физико-механические свойства шпона толщиной 1,5 мм

Предел прочности при растяжении, МПа	
Вдоль волокон древесины	Поперек волокон древесины
110	2,20

Сульфат бария ($BaSO_4$) – барит (тяжелый или персидский шпат). Основной минерал бария – белый порошок (температура плавления – около $1680^\circ C$), практически нерастворим в воде (2,2 мг/л при $18^\circ C$), медленно растворяется в концентрированной серной кислоте. Для минерала характерны белый и серый цвета, стеклянный или перламутровый блеск, неровный излом. В качестве примесей в барите присутствуют кальций и стронций, иногда встречаются разновидности, содержащие свинец и радий. Ориентировочный состав соответствует 65,7 % BaO и 34,3 % SO_3 .

Основным технологическим свойством минерала является высокая плотность ($4,3\text{--}4,6 \text{ г/см}^3$), заметно снижающаяся с увеличением

в нем примесей и включений. В сочетании с химической инертностью, малой абразивностью, обусловленной низкой твердостью и сравнительно невысокой стоимостью, это предопределяет основную область использования барита как наилучшего утяжелителя промышленной жидкости при бурении глубоких скважин: около 85 % из более чем 7 млн т ежегодной мировой добычи минерала используется с этой целью.

Сульфат бария поглощает рентгеновские и γ -лучи. Это свойство используется в медицине для диагностики желудочно-кишечных заболеваний. Сульфат бария используется также для изготовления баритобетона, используемого при строительстве атомных электростанций и атомных заводов для защиты от проникающей радиации.

Области применения барита в мире достаточно широки и разнообразны. Большую часть мировых запасов барита используют в нефтедобывающей промышленности и геологоразведке (с учетом его физико-механических и стоимостных параметров), а также в:

1) нефтедобывающей промышленности, геологоразведке – в качестве утяжелителя буровых растворов при глубоком и сверхглубоком бурении;

2) цементной промышленности – для получения высокосульфатостойких, термостойких и утяжеленных цементов;

3) химической промышленности – для получения всех барийсодержащих соединений, солей и препаратов бария;

4) стекольной промышленности – для производства специальных стекол. Баритовые стекла очень чисты, прозрачны, блестящи и обладают хорошими оптическими свойствами;

5) металлургии – в качестве интенсификатора процесса получения ферросплавов, добавки для выплавки барийсодержащих сплавов, в качестве флюса при плавке желтой меди и в алюминиевой промышленности при производстве чистой окиси глинозема;

6) дорожном строительстве – в качестве наполнителя. Молотый барит применяется в смеси с латексом (6 %) и горячим асфальтом (47 %) в качестве верхних покрытий взлетно-посадочных полос и обычных дорог; это обеспечивает получение прочного и гибкого слоя;

7) лакокрасочной промышленности – для производства белого пигмента (литопона), высокосортных цинковых (в смеси с ZnO и ZnS) и свинцовых белил и других красок, беложгущихся изделий, кафельных плиток и пр., в высокосортных эмалях, применяемых в реакторах для антикоррозионной защиты;

8) резинотехнической промышленности – в качестве инертного или сабоактивного наполнителя;

9) асботехнической промышленности – для производства фрикционных материалов;

10) атомной промышленности – для щитов радиационной защиты. Представляет собой бетонный материал, включающий 80 % барита и 10 % окислов железа, является хорошим защитным материалом от гамма-излучения. Являясь составной частью штукатурки для стен рентгеновских лабораторий, выступает как защита от вредных действий рентгеновских лучей.

По данным геологической службы США (USGS), мировые ресурсы баритовых руд на 1 января 2007 г. оцениваются примерно в 2 млрд т, но только 740 млн т было выявлено. По оценкам ИАЦ «Минерал», общие запасы барита в мире на начало 2007 г. были существенно ниже, по сравнению с данными USGS, и составляли около 900 млн т. Наибольшие объемы запасов имеют Китай, Казахстан, Индия, США и Россия. Структура мировых запасов барита показывает, что их большая часть выявлена в Азии (рис. 1.4).

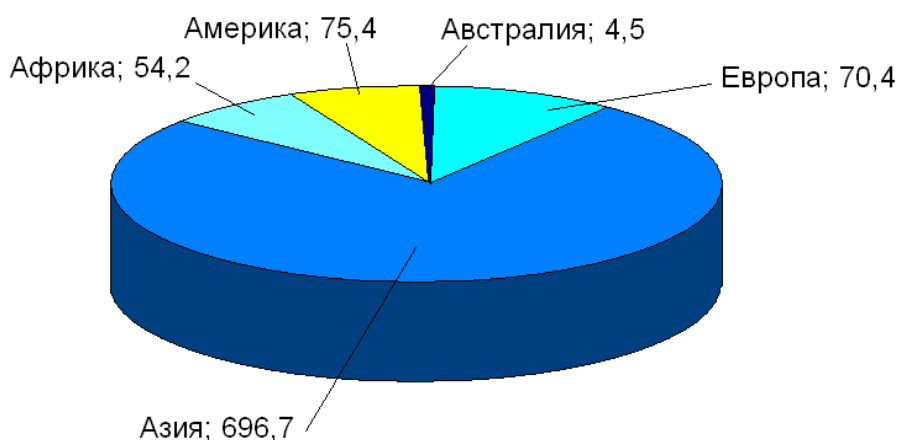


Рис. 1.4. Структура мировых запасов барита по континентам, млн т

Основным поставщиком барита на мировой рынок является Китай. Однако в последние годы отмечается рост потребления этого вида сырья и внутри страны, что сокращает его экспортные возможности. Главными потребителями барита в КНР являются государственные энергетические компании.

Основным импортером барита являются США, получающие ежегодно крупные партии данной продукции. Так, в 2007 г. импорт

барита составил 2496,1 тыс. т, а в 2008 г. поставки значительно снизились и составили 893,1 тыс. т. В 2009 г. объемы импорта снова увеличились и составили 1156 тыс. т.

Помимо США, крупными покупателями барита являются Норвегия, Германия, в последние годы еще и Мексика. Они ежегодно импортируют продукцию в объемах от 129 до 165 тыс. т. Техническая характеристика бария сернокислого BaSO_4 (ГОСТ 3158-75), применяемого в экспериментах, приведена в таблице 1.5.

Таблица 1.5

Техническая характеристика бария сернокислого

Наименование показателя	Требование	Результат анализа
Массовая доля воды, %, не более	0,1	0,07
Массовая доля железа (Fe), %, не более	0,002	0,002
Массовая доля нитратов (NO_3), %, не более	0,005	0,005
Массовая доля тяжелых металлов (Pb), %, не более	0,001	0,0005
Массовая доля хлоридов (Cl), %, не более	0,015	0,015
Растворимые соли бария	Выдерживает	
Массовая доля растворимых в соляной кислоте веществ, %, не более	0,2	0,2
Массовая доля сульфатов (SO_4), растворимых в воде %, не более	0,015	0,015
Массовая доля остатка на сите сеткой 0,14, %, не более	0,008	0,008
Массовая доля фосфатов (PO_4), %, не более	Не норм.	—
Массовая доля мышьяка (As), %, не более	Не норм.	—

Связующее – это клей на основе поливинилацетатной дисперсии «Иоваколь 102.70», который предназначен для склеивания поверхностей с повышенной стойкостью к влаге в помещении (дверей, окон, мебели). Это универсальный клей для склеивания твердой и мягкой древесины, а также для ДСтП и других древесных плит, укладки паркета и ламинатного пола.

При правильном применении «Иоваколь 102.70» достигает прочности склейки D3/D4 по нормам нагрузки DIN EN 204 и с добавкой 5 % отвердителя 195.40. Клей можно наносить обычными приспособлениями. Техническая характеристика поливинилацетатного клея «Иоваколь 102.70» приведена в таблице 1.6.

Таблица 1.6

Техническая характеристика
поливинилацетатного клея «Иоваколь 102.70»

Показатель	Значение
Вязкость по Брукфильду, МПа·с	13,500 ± 4,500
Сухой остаток, %	51 ± 2
Плотность, г/см ³	1,08 ± 0,02
Значение pH	3,0 ± 0,5
Минимальная температура образования пленки, °С	5
Цвет клеевой пленки	Бесцветно-прозрачный
Минимальная температура деталей, клея и помещения, °С	15
Время переработки, час	5
Нанесение клея	Одностороннее или двустороннее
Расход клея, г/м ²	150–200
Время открытой выдержки, мин	5–8
Давление прессования, Н/мм ²	> 0,2
Минимальное время прессования при 50 °С, мин	4 мин
Минимальное время прессования при 90 °С, мин	1,5

Машины и приборы после применения клея следует промыть холодной или горячей водой с добавлением очистительного концентрата «Иоват 192.40». Минимальный срок хранения в сухом прохладном месте (15–25 °С) в таре – 6 месяцев. Следует предохранять от мороза.

Синтепон термоскрепленный

Сырьем для производства синтепона служит высококачественное волокно, обладающее отличными гигиеническими и гипоаллергенными свойствами. Он отвечает требованиям пожарозащищенности, т. е. не воспламеняется при контакте с горящей сигаретой. Материал выпускается с поверхностной плотностью от 40 до 800 г/м², стандартная ширина рулона – 150 см.

Синтепон представляет собой прочный и мягкий нетканый материал. При его производстве используется метод термоскрепления полиэфирных волокон, что позволяет ему сохранять мягкость и упругость. Техническая характеристика синтепона термоскрепленного (ТУ 63.5788957 ОП 16-90) приведена в таблице 1.7.

Таблица 1.7

Техническая характеристика термоскрепленного синтепона

Показатель	Значение
Состав, %	100
Ширина, см × см	150 × 150

1.4. Создание конструкции слоистого материала на основе древесины

Куски волокнистого материала (синтепона) размером 150 × 150 мм пропитывались приготовленным пропитывающим составом (предварительно изготовленным). Пропитывающий состав состоял из минерального наполнителя (сульфата бария), связующего на основе поливинилацетатной дисперсии и воды. Пропитанные листы высушивались на решетке при температуре 20–22 °С в течение 24 часов с одной стороны, а затем они переворачивались на другую сторону и высушались при этой же температуре еще 24 часа.

Полученные образцы армирующего слоя для создания одинаковой толщины $3 \pm 0,1$ мм запрессовались в прессе с использованием дистанционных прокладок при температуре плит пресса 50 ± 2 °С в течение 5 минут.

Далее прирубленные куски шпона размером 120 × 120 мм собирались в пакет, при этом слои шпона и армирующего слоя чередовались через один (рис. 1.5). Для склеивания листов между собой использовалось связующее на основе поливинилацетатной дисперсии. Собранный таким образом пакет помещался в пресс и запрессовывался по разным режимным параметрам. Толщина получаемого слоистого материала задавалась дистанционными планками.

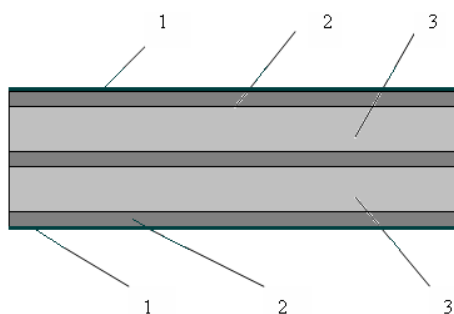


Рис. 1.5. Схема конструкции материала «Фанотрен Б»:

- 1 – материал облицовочный с финишным эффектом;
2 – шпон березовый; 3 – армирующий слой

Для исключения влияния пороков древесины шпон подбирался одинаковым по внешнему виду, без видимых дефектов. Подготовленные таким образом пакеты загружались в пролет прессы и запрессовывались по разным технологическим режимам с использованием дистанционных планок.

Качество склеивания образцов оценивается по внешнему виду, толщине и прочности склеивания [9, 10–13].

У полученного армирующего слоя определялись рентгенозащитные свойства – плотность и величина свинцового эквивалента. А полученный материал «Фанотрен Б» (рис. 1.6) раскаивался на образцы для определения физико-механических свойств.



Рис. 1.6. Композиционный материал «Фанотрен Б»
(лабораторный образец)

1.5. Исследование влияния рецептуры пропитывающего состава на рентгенозащитные свойства армирующего слоя

Основное влияние на защитные свойства в конструкции слоистого материала оказывает армирующий слой. Его получают путем пропитки волокнистого материала пропитывающим составом. Для того чтобы конструкция слоистого материала отвечала своим требованиям (ослабляла поток рентгеновского излучения), были проведены исследования по разработке рациональной рецептуры пропитывающего состава.

На свойства пропитывающей композиции оказывает влияние большое количество факторов, но наиболее существенные, выявленные на основании поисковых опытов, следующие:

- количество минерального наполнителя в пропитывающем составе, г;
- количество связующего в пропитывающем составе, г;
- масса воды в пропитывающем составе, г.

Задачей исследований являлось нахождение рецептуры пропитывающего состава для создания армирующего слоя, обладающего достаточными защитными свойствами.

Наименование постоянных факторов при проведении экспериментов и их значения приведены в таблице 1.8. Натуральные значения управляющих факторов и диапазоны их варьирования приведены в таблице 1.9.

Таблица 1.8

Постоянные факторы при проведении экспериментов

Наименования факторов	Значения
Относительная влажность воздуха, %	65 ± 5
Температура окружающей среды, °C	20 ± 2
Время перемешивания компонентов, входящих в пропитывающий состав, мин	5 ± 1
Время сушки армирующего слоя, ч	48 ± 1
Температура плит прессы, °C	50 ± 2
Время прессования армирующего слоя, мин	5 ± 1
Толщина армирующего слоя, мм	$3 \pm 0,1$

Таблица 1.9

Натуральные значения управляющих факторов
и диапазоны их варьирования

Наименование показателя	Ед. изм.	Пере- мен- ные	Натуральные значения			Шаг варьирования
			-1	0	1	
Количество минерального наполнителя в пропитывающем составе, M_1	г.	x_1	150	175	200	25
Количество связующего в пропитывающем составе, M_2	г.	x_2	100	150	200	50
Количество воды в пропитывающем составе, M_3	г.	x_3	80	95	110	15

Влияние компонентов, входящих в пропитывающий состав, на величину плотности армирующего слоя

Плотность является одной из характеристик полученного армирующего слоя. Чем большей плотностью будет обладать армирующий слой, тем с большей способностью он будет ослаблять поток рентгеновского излучения [1, 14, 15, 32–33].

Исходя из вышесказанного, были проведены экспериментальные исследования по определению изменения величины плотности армирующего слоя в зависимости от соотношения компонентов, входящих в рецептуру пропитывающего состава (количества минерального наполнителя, количества связующего и воды).

Плотность армирующего слоя определяют на образцах размерами $100 \times 100 \times h$ мм [10, 12].

Толщину измеряют в четырех точках: посередине длины и ширины на расстоянии 25 мм от центра образца.

Плотность вычисляют по формуле:

$$\rho = \frac{m}{l b h}, \quad (1.13)$$

где m – масса образца РЗС, кг;

l – ширина образца, м;

b – толщина образца, м;

h – толщина РЗС, м.

Эксперименты проводились по плану B_3 (Бокса) для трех независимых переменных. По полученным данным были построены соответствующие зависимости, представленные на рисунках 1.7 и 1.8.

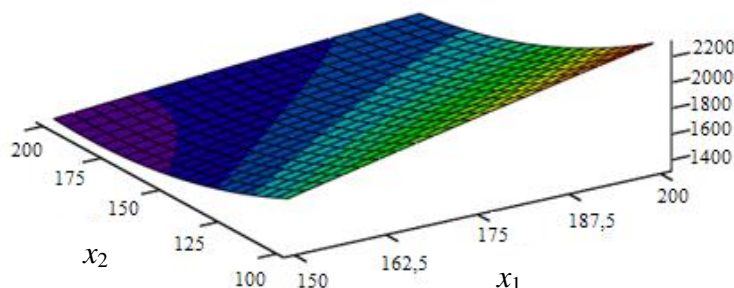


Рис. 1.7. Зависимость плотности армирующего слоя от количества минерального наполнителя (x_1) и количества связующего (x_2) в пропитывающем составе

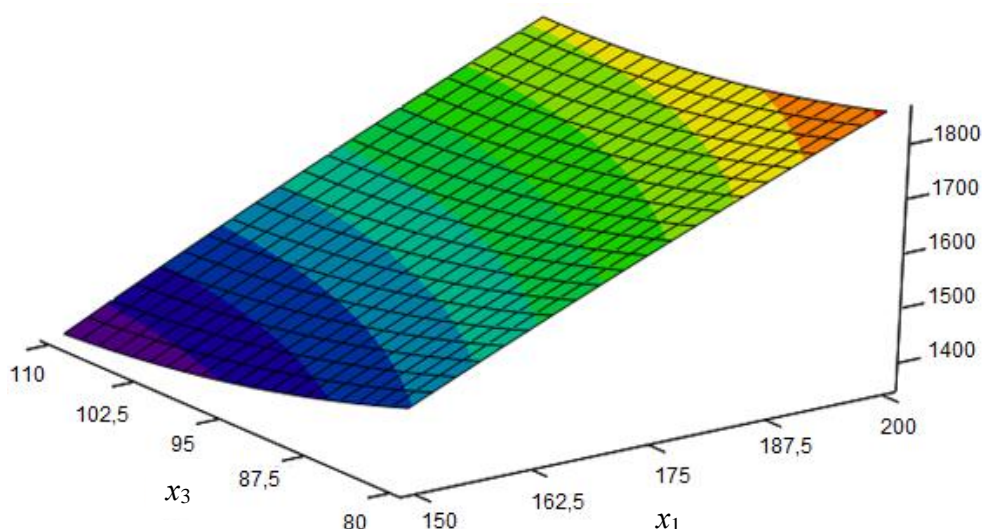


Рис. 1.8. Зависимость плотности армирующего слоя от количества минерального наполнителя (x_1) и количества воды в пропитывающем составе (x_3)

Влияние компонентов, входящих в пропитывающий состав, на величину защитных свойств армирующего слоя

Цель исследования – установить влияние количества компонентов, входящих в рентгенозащитный пропитывающий состав, на величину защитных свойств армирующего слоя. Защитные свойства армирующего слоя оценивались при помощи величины свинцового эквивалента.

Для этого через полученные образцы и свинцовую пластину толщиной 1 мм пропускали рентгеновские лучи рентгеновским аппаратом «Ренекс Э4-НЗ» (время экспозиции – 0,02 с, сила тока – 25 мА, напряжение – 60 кВт) с использованием пленки «Ренекс РПЗ-2».

Способность полученного рентгенозащитного слоя пропускать рентгеновские лучи оценивали по рентгенопрозрачности и фотометрической контрастности изображения на рентгенограмме с помощью люксметра «ТКА-ЛЮКС». В качестве тестового материала применялась свинцовая пластина толщиной 1 мм. Схема определения защитных свойств рентгенозащитного слоя представлена на рисунке 1.9.

Принцип работы люксметра заключается в преобразовании фотоприемным устройством оптического излучения в числовые значения освещенности (лк). Зафиксировав источник света 1, укладывали на стекло 2 кальку 3 для равномерного распределения светового потока. Далее брали рентгенограмму 4 и устанавливали ее на кальку.

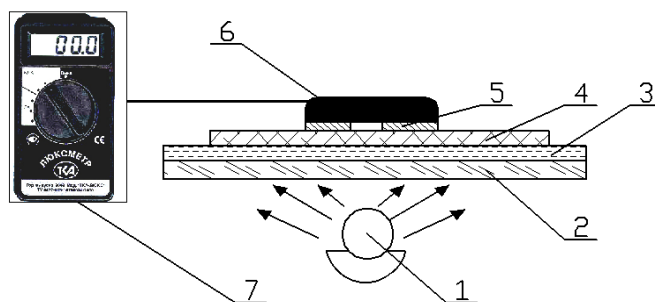


Рис. 1.9. Схема определения защитных свойств рентгенозащитного слоя с помощью люксметра: 1 – источник света; 2 – стекло; 3 – калька; 4 – рентгенограмма образцов; 5 – окно; 6 – датчик; 7 – люксметр

Для снижения погрешности измерений изготовили окно 5, учитывая размеры головки люксметра 6. Значение свинцового эквивалента определялось следующим соотношением:

$$k = \frac{f_1}{f_2}, \quad (1.14)$$

где k – свинцовый эквивалент, мм Pb/мм;

f_1 – фотометрическая контрастность пленки образцов рентгенозащитного слоя;

f_2 – фотометрическая контрастность пленки образца свинца толщиной 1 мм.

По полученным данным были построены соответствующие зависимости, представленные на рисунках 1.10 и 1.11.

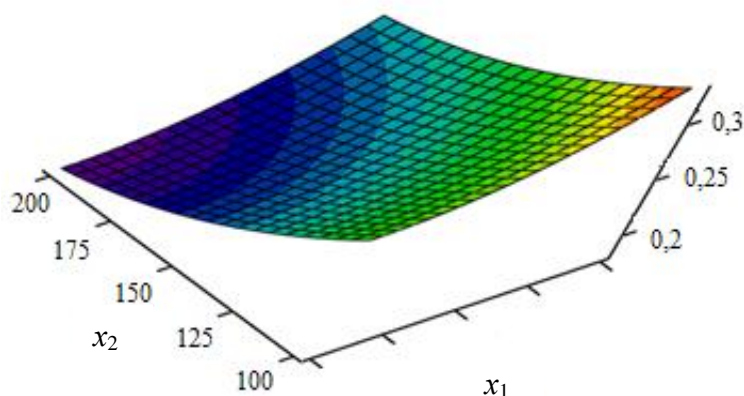


Рис. 1.10. Зависимость величины свинцового эквивалента армирующего слоя от количества минерального наполнителя (x_1) и количества воды (x_2) в пропитывающем составе

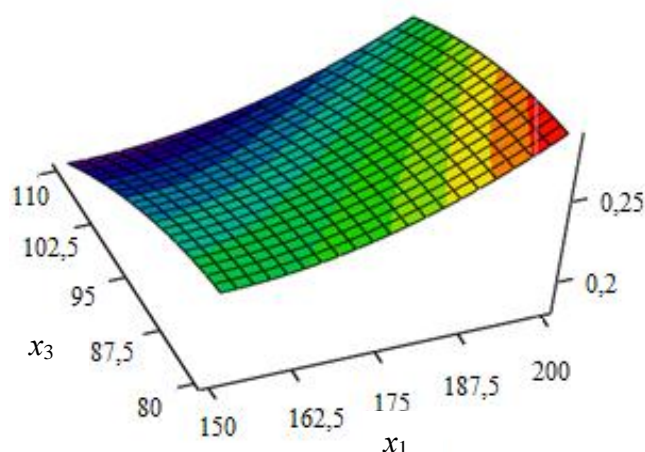


Рис. 1.11. Зависимость величины свинцового эквивалента армирующего слоя от количества минерального наполнителя (x_1) и количества воды (x_3) в пропитывающем составе

Анализ результатов исследования

По результатам исследований были сделаны выводы:

1. Увеличение количества минерального наполнителя и уменьшение количества связующего и воды в пропитывающем составе увеличивает плотность армирующего слоя и величину его защитных свойств.

2. Содержание минерального наполнителя (сульфата бария) в пропитывающем составе не должно превышать 53 %, т. к. дальнейшее увеличение его приведет к получению высоковязкой смеси, которая не способна пропитать наполнитель (синтепон) и, как следствие, будет отсутствовать адгезионное взаимодействие. Тщательное перемешивание пропитывающего состава позволит равномерно распределить в нем частицы сульфата бария и тем самым повысить прочностные и защитные (от рентгеновского излучения) свойства.

3. В процессе создания армирующего слоя при отверждении связующего происходит реакция поликонденсации и образуется пространственно сшитая молекула полимера. Отвержденное связующее будет иметь высокую степень полимеризации, что подтверждается высокой прочностью, плотностью, твердостью и низкой пластичностью образующегося армирующего слоя.

4. Полученный армирующий слой имеет большую разнотолщинность, т. е. высокую шероховатость поверхности и, следовательно, небольшую площадь контакта, поэтому для создания конструкции материала (соединения армирующего слоя со шпоном), для увеличения его прочностных показателей необходимо предварительно уплотнить армирующий слой в прессе, разогретом до температуры

$50 \pm 0,5$ °С (с применением дистанционных планок до толщины $3 \pm 0,1$ мм).

5. Рецептúra пропитывающего состава: содержание минерального наполнителя в состав – 51 %; содержание связующего (клея) – 26 %; содержание воды – 23 %.

6. Плотность полученного рентгенозащитного слоя толщиной $3 \pm 0,1$ мм составляет 2291 кг/м^3 , величина свинцового эквивалента рентгенозащитного слоя – 0,27 мм Pb/мм. Это позволяет рекомендовать полученный армирующий материал в качестве защитного слоя в конструкции слоистого материала на основе древесины для ослабления потока ионизирующего излучения (в частности, рентгеновского).

1.6. Исследование влияния режимных параметров прессования слоистого материала на его физико-механические свойства

Цель исследований заключалась в определении влияния технологических параметров создания слоистого материала на его физико-механические свойства, оцениваемые пределом прочности при скалывании по клеевому слою (пределом прочности при статическом изгибе вдоль наружных слоев и пределом прочности при растяжении вдоль волокон).

Полученные в результате прессования образцы слоистого материала раскраивались для испытаний [11–12, 31, 34].

На физико-механические свойства в процессе прессования слоистого материала оказывают влияние большое количество факторов [2, 22–26]. Но наиболее существенные, выявленные на основании поисковых опытов, следующие:

- расход клея, г/м^2 ;
- температура плит пресса, °С;
- время прессования, мин.

Для оценки физико-механических свойств рентгенозащитного слоистого материала на основе древесины, постановку экспериментов осуществляли по плану B_3 (Бокса) для трех независимых переменных. В качестве выходных параметров изучаемого процесса выбраны:

- предел прочности при статическом изгибе вдоль наружных слоев слоистого материала на основе древесины;
- предел прочности при скалывании по клеевому слою слоистого материала на основе древесины;
- предел прочности при растяжении вдоль волокон слоистого материала на основе древесины.

Натуральные значения управляющих факторов и диапазоны их варьирования представлены в таблице 1.10. Постоянные факторы при проведении экспериментов представлены в таблице 1.11.

Таблица 1.10

Натуральные значения управляющих факторов
и диапазоны их варьирования

Наименование показателя	Ед. изм.	Переменные	Натуральные значения			Шаг варьирования
			–1	0	1	
Расход клея, q	г/м ²	x_1	150	175	200	25
Температура плит пресса, t	°С	x_2	50	60	70	10
Время прессования, τ	мин	x_3	6	7	8	1

Влияние режимных параметров прессования слоистого материала на величину предела прочности при статическом изгибе вдоль наружных слоев

Величина предела прочности при статическом изгибе является одним из показателей, характеризующих эксплуатационные свойства материала [31–34]. Исходя из вышесказанного, были проведены экспериментальные исследования по определению изменения величины предела прочности при статическом изгибе слоистого материала от режимных параметров его прессования: расхода клея, температуры плит пресса и времени прессования.

Исследования по определению предела прочности при статическом изгибе слоистого материала на основе древесины проводились по плану B_3 (Бокса) для трех независимых переменных. По полученным данным были построены соответствующие зависимости, представленные на рисунках 1.12 и 1.13.

Таблица 1.11

Постоянные факторы при проведении экспериментов

Постоянный фактор	Показатель
Относительная влажность воздуха, %	65 ± 5
Температура окружающей среды, °С	20 ± 2

Окончание табл. 1.11

Постоянный фактор	Показатель
Толщина рентгенозащитного слоя, мм	$3 \pm 0,1$
Рецептура пропитывающего состава, %:	
содержание минерального наполнителя	51
содержание связующего (клея)	26
содержание воды	23
Слойность конструкции (количество листов шпона), шт.	3
Время открытой выдержки клея, мин	6 ± 1

Влияние режимных параметров прессования слоистого материала на величину предела прочности при скалывании по клеевому слою

Одним из показателей, характеризующих качество склеивания листов слоеной древесной конструкции, а следовательно, величину адгезионной способности связующего (клея на основе ПВА), является величина предела прочности при скалывании по клеевому слою [31, 34].

Были проведены исследования по определению изменения величины предела прочности при скалывании по клеевому слою в зависимости от расхода клея, температуры плит пресса и времени. По полученному уравнению регрессии были построены соответствующие зависимости, представленные на рисунках 1.14 и 1.15.

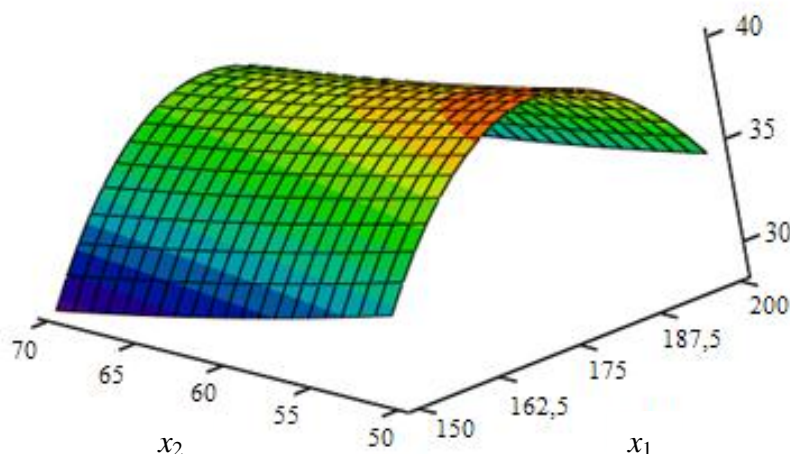


Рис. 1.12. Зависимость предела прочности при статическом изгибе вдоль наружных слоев слоистого материала от расхода клея (x_1) и температуры плит пресса (x_2)

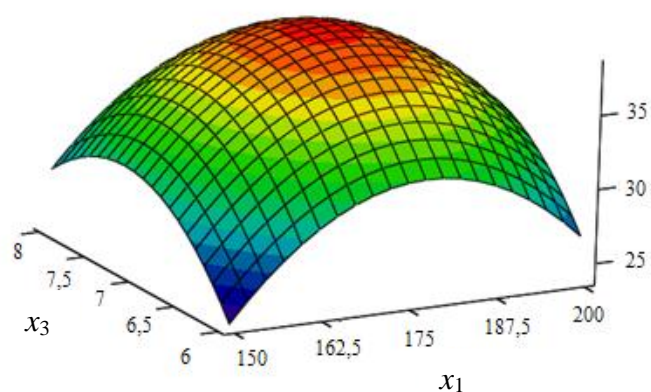


Рис. 1.13. Зависимость предела прочности при статическом изгибе вдоль наружных слоев слоистого материала от расхода клея (x_1) и времени прессования (x_3)

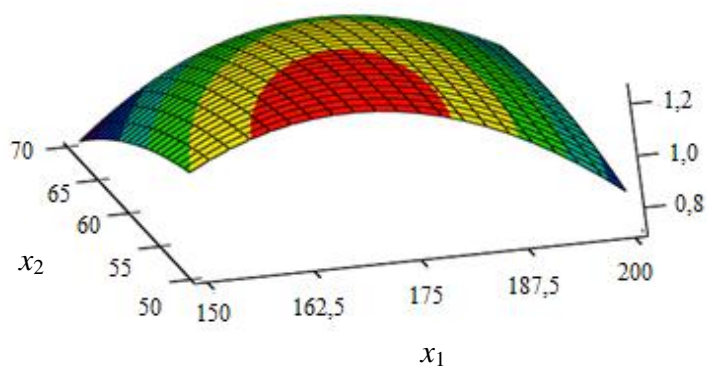


Рис. 1.14. Зависимость предела прочности при скалывании по клеевому слою слоистого материала от расхода клея (x_1) и температуры плит пресса (x_2)

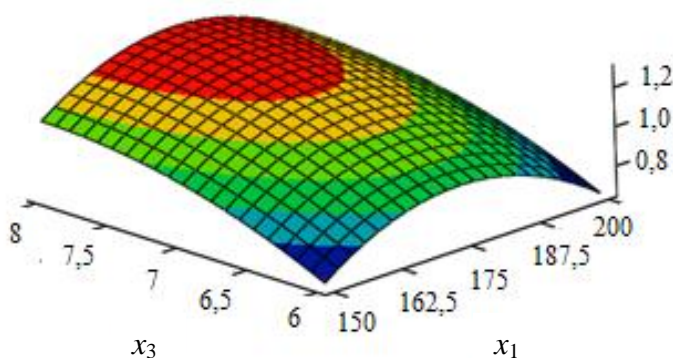


Рис. 1.15. Зависимость предела прочности при скалывании по клеевому слою слоистого материала от расхода клея (x_1) и времени прессования (x_3)

Анализ результатов исследования

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1. Увеличение количества связующего от 150 до 175 г/м² повышает прочностные свойства композиционного материала; дальнейшее повышение расхода клея экономически нецелесообразно.

2. Температура плит пресса должна находиться в пределах 55 ± 5 °С. При этой температуре наблюдается рост работы адгезии за счет увеличения подвижности молекул связующего, что увеличивает контакт между склеиваемыми поверхностями (шпона и РЗС). Дальнейшее повышение температуры плит пресса приводит к снижению прочностных свойств клееной конструкции, что можно объяснить деградацией связующего на основе поливинилацетатной дисперсии.

3. Получены режимные параметры создания слоистого материала на основе древесины при рациональных значениях: расход клея – 174 г/м²; температура плит пресса – 50 °С; время прессования – 7 мин 42 с.

4. Значение выходных параметров составляют предел прочности при статическом изгибе вдоль наружных слоев слоистого материала (39 МПа) и предел прочности при скалывании по клеевому слою слоистого материала (1,34 МПа).

По результатам проведенных исследований разработана схема технологического процесса производства материала для условий промышленного производства (рис. 1.16).



Рис. 1.16. Схема процесса изготовления «Фанотрена Б»

2. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ДРЕВЕСИНЫ

По прогнозам специалистов, до 2020 г. потребности населения страны в жилье не будут удовлетворены. Сегодня общая потребность населения России в жилой площади составляет около 1570 млн м², и для ее удовлетворения требуется увеличить жилищный фонд страны на 46 % [36].

Ученые и представители строительных компаний считают, что малоэтажное строительство является приоритетным направлением решения этого жилищного вопроса.

Для удовлетворения быстро растущего спроса на жилье необходимо разрабатывать и внедрять новые экономически выгодные теплоизоляционные материалы.

Для решения данной задачи в УГЛТУ были выполнены исследования по разработке нового теплоизоляционного материала, который состоит из смеси мелких древесных отходов и щелочных силикатов [37].

За последние годы были разработаны следующие технологии по комплексному использованию древесных отходов (опила, станочной стружки, дробленки и т. д.). Были разработаны и поставлены на производство следующие технологии: мягкие древесно-волокнистые плиты, пьезотермопластики, лигноуглеводные древесные пластики, арболит, фибролит, опилкобетон.

Все вышеперечисленные технологии обладали определенными преимуществами в получении заданных свойств. Но у них имеются определенные недостатки, такие как: применение специального оборудования (размольного, сушильного, формирующего, транспортного), полученные материалы имеют высокую плотность и требуют использования цементов высоких марок.

Технология получения разработанного теплоизоляционного материала на основе отходов древесины позволяет использовать его либо в виде вязкотекучей массы, которой можно заполнять межкирпичную кладку, любые пустоты в межкомнатных перегородках и других подобных конструкциях, либо в виде конструкционных материалов. Новый материал представляет собой древесно-минеральную композицию, состоящую из древесных отходов (опила, станочной стружки) и жидкого стекла с добавками инициатора твердения. В качестве инициатора используется технический гексафторсиликат натрия.

Влажность древесных частиц для производства теплоизоляционного материала имеет широкий диапазон – от 1 до 250 %. Количество коры в конструкции материала не нормируется. Внешний вид разработанного теплоизоляционного материала представлен на рисунке 2.1.



Рис. 2.1. Внешний вид разработанного теплоизоляционного материала на основе отходов древесины

С целью определения характеристик разработанного теплоизоляционного материала на основе древесных отходов были проведены исследования по определению величины предела прочности при его сжатии. Результаты исследований представлены на рисунках 2.1 и 2.2 [38].

На рисунке 2.3 представлена зависимость предела прочности при сжатии теплоизоляционного материала в зависимости от количества вводимого в жидкое стекло инициатора твердения (гексафторсиликата натрия) во временном интервале – через 3, 7 и 30 суток выдержки при температуре 18–20 °С. Полученные данные говорят о том, что величина предела прочности при сжатии увеличивается до 1,75 и 2,5 кг/м². В связи с этим можно рекомендовать добавлять в жидкое стекло гексафторсиликат натрия в количестве 10 %.

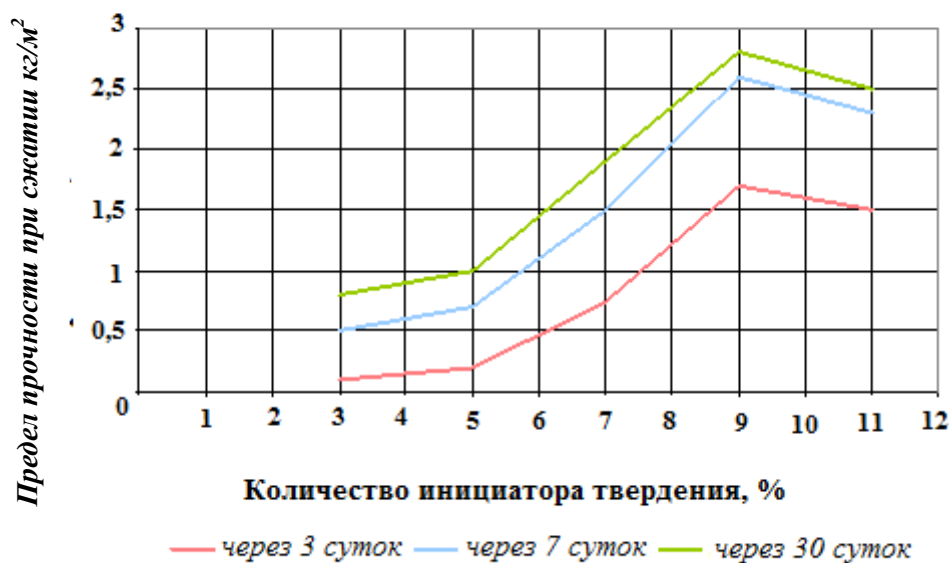


Рис. 2.2. Влияние количества инициатора затвердевания на величину предела прочности при сжатии теплоизоляционного материала



Рис. 2.3. Величина предела прочности при сжатии образцов теплоизоляционного материала

Также величина предела прочности при сжатии определяется соотношением количества древесного заполнителя и жидкого стекла, входящих в конструкцию материала. Из графика, изображенного на рисунке 2.3, можно сделать предположение, что при соотношении от 1:1,5 до 1:4 древесные частицы, входящие в композицию, играют роль наполнителя, а основную нагрузку несет жидкое стекло.

На рисунке 2.4 представлены кривые влагопоглощения древесины сосны и теплоизоляционного материала на основе отходов древесины. Опытные образцы изготавливались в соотношении: 1 часть древесного заполнителя и 3 части щелочного силиката. При этом древесные частицы брались разной исходной влажности (1, 7–8, 80 и 250 %). График показывает, что влагопоглощение теплоизоляционного материала выше, чем у древесины сосны. Это объясняется тем, что исследуемый материал имеет большую объемную поверхность, которая при дальнейшем смачивании водой дает повышенное водопоглощение.

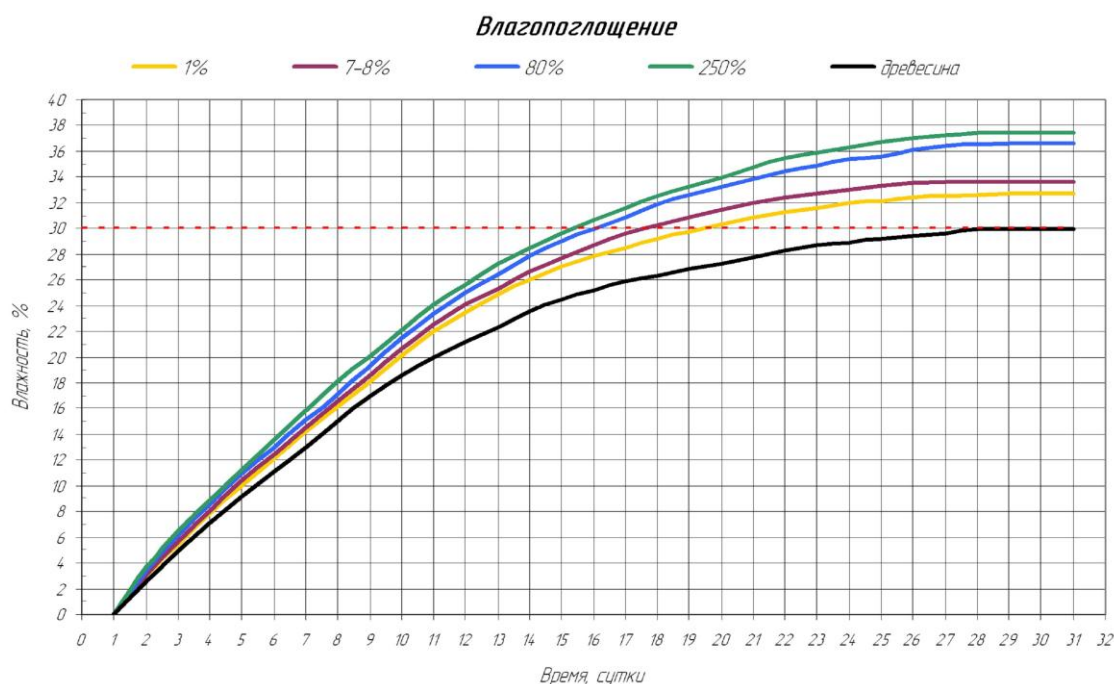


Рис. 2.4. Величина влагопоглощения испытываемых образцов теплоизоляционного материала на основе древесных отходов и древесины сосны

Изготовление теплоизоляционного материала с использованием щелочных силикатов позволит утилизировать мелкие древесные и растительные отходы в широком влажностном диапазоне и исключить образование свалок, нарушающих экологический баланс территорий [39, 40]. Предлагаемый теплоизоляционный материал на основе отходов древесины биостоек, экологически чистый, более огнестоек по сравнению с массивной древесиной. Коэффициент теплопроводности полученного материала составляет 0,087, поэтому его можно рекомендовать для использования в малоэтажном домостроении для теплоизоляции межкомнатных перегородок. Предел прочности при сжатии приближается к значению показателя для такого материала,

как фибролит. Полученный материал транспортабелен и достаточно прочен при сравнительно небольшой плотности (250–300 кг/м³).

Изготовление данного материала не требует сложного технологического оборудования. Технологическая схема производства теплоизоляционного материала на основе древесных отходов представлена на рисунке 2.5.

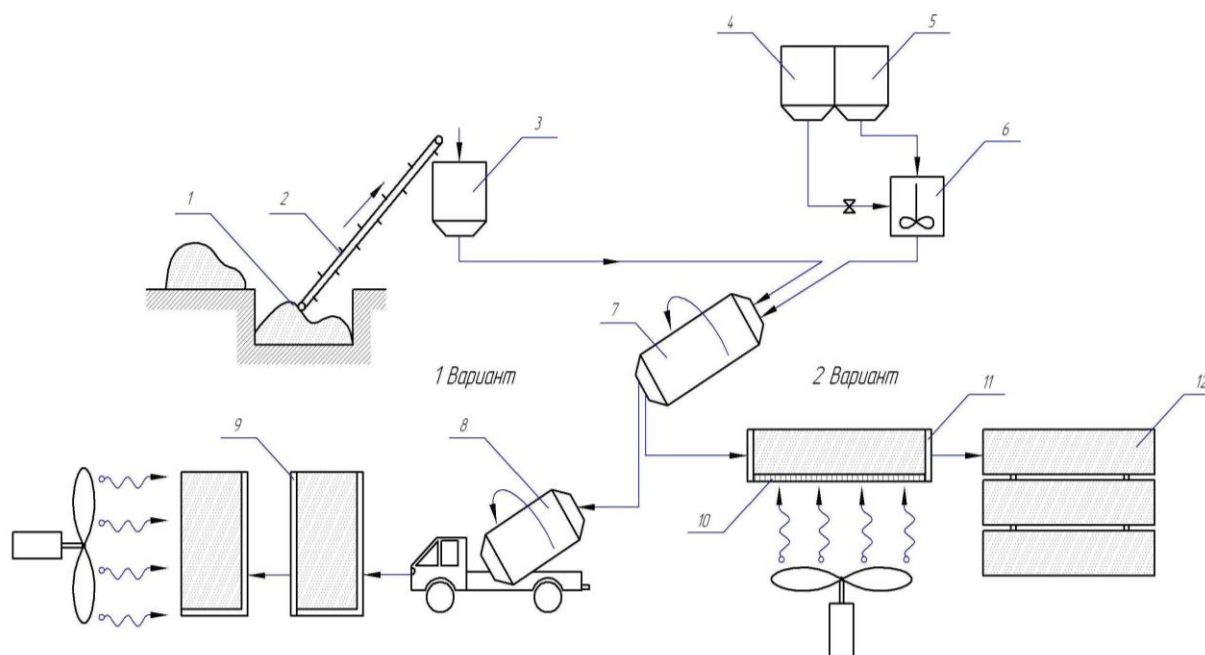


Рис. 2.5. Технологическая схема производства теплоизоляционного материала на основе отходов древесины:
1 – отходы; 2 – транспортер для подачи отходов; 3 – бункер;
4 – емкость для связующего; 5 – емкость для модификатора;
6 – расходная емкость; 7 – смеситель; 8 – автоперевозчик; 9 – панель;
10 – сетка; 11 – форма; 12 – полученный материал (плита)

Сравнительная характеристика наиболее применяемых в настоящее время теплоизоляционных материалов приведена в таблице 2.1.

Разработанный теплоизоляционный материал можно использовать в каркасно-панельном и панельно-каркасном домостроении.

Каркасно-панельное домостроение предполагает использование стеновых каркасных элементов, изготавливаемых в промышленных условиях (рис. 2.6). Преимущество данной системы заключается в универсальности, гибкости технологии изготовления, унификации всех элементов, высокой производительности при изготовлении и монтаже.

Таблица 2.1

Сравнительная характеристика наиболее применяемых теплоизоляционных материалов

Наименование материала	Свойства	Область применения	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	Недостатки	Ориентировочная стоимость, руб./м ³
Стекло-волокно	Низкая теплопроводность, негорючая основа, фенольное или карбамидное связующее	Стены, крыши, закрытые фасады, перекрытия	0,038–0,050	Осыпание волокна со временем, потеря свойств при попадании влаги; отсутствие защиты против бактерий, грызунов	1500–2100
Минеральная вата	Низкая теплопроводность, негорючая основа, синтетические смолы в качестве связующего	«Сэндвич-панели», стены, кровля, полы	0,038–0,045	Осыпание волокна со временем; потеря свойств при попадании влаги; отсутствие защиты против бактерий, грызунов	1600–5100
Керамзит	Негорюч, основа – глина	Изоляция пола, чердаков, слоистая кладка	0,148	Большой вес, трудоемкий монтаж	400
Пенополистирол	Легкость монтажа, жесткость, гидрофобность	Полы, кровля	0,035–0,040	Горюч, токсичен, при горении «не дышит», ограниченная теплостойкость	6000–7000
Пенобетон, газобетон	Конструкционный материал, негорюч, поставляется блоками	Наружные стены, перегородки	0,090–0,150	Недостаточное тепловое сопротивление; постоянно растущая цена	650–1100

Окончание табл. 2.1

Наименование материала	Свойства	Область применения	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	Недостатки	Ориентировочная стоимость, руб./м ³
Эковата	Низкая теплопроводность; экологичность; огнестойкость; высокая способность к поглощению звука; долговечность; борьба с грибами	Изоляция полов, стен, крыш, потолков, утепление «сэндвич-панелей»	0,032–0,041	Дороговизна напыляющего оборудования; непереносимость механических нагрузок	650–1100
Арболит	Конструкционный материал; негорюч, поставляется блоками, огнестойкий, биостойкий	Изоляция стен, пола, потолков	~ 0,080	Недостаточное теплосопротивление, дефицит на рынке, постоянно растущая цена	3500–4000
Теплоизоляционный материал	Конструкционный материал; негорюч; поставляется блоками; огнестойкий, биостойкий	Изоляция стен, пола, потолков	~ 0,080	Недостаточное тепловое сопротивление	2500–4000



Рис. 2.6. Промышленное производство элементов каркасно-панельного дома

Панельно-каркасное домостроение предполагает использование и стеновых панелей, и решетчатых (для устройства перекрытий и покрытий). Преимущество данной системы заключается в высоком качестве промышленной сборки, короткой продолжительности строительства (рис. 2.7).



Рис. 2.7. Транспортировка элементов панельно-каркасного дома

3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЯГКОЛИСТВЕННЫХ ПОРОД ДРЕВЕСИНЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПАРКЕТА

В настоящее время одной из наиболее важных задач на предприятиях в условиях рынка является экономия лесоматериалов в строительстве и более комплексная переработка древесного сырья, расширение использования древесины мягколиственных пород. В условиях истощения запасов деловой древесины использование в качестве сырьевой базы быстрорастущих малоценных пород и разработка экологически безопасных методов повышения их физико-механических и декоративных свойств являются актуальными задачами современной деревообрабатывающей промышленности.

В связи с расширением области использования древесины значительно возросла роль теоретических исследований, позволяющих наметить новые способы обработки и переработки древесины. Среди основных направлений развития современных технологий обработки древесины важное место занимают исследования способов её химической и механической переработки.

Древесина как строительный и конструкционный материал очень широко применяется в различных сферах жизнедеятельности человека. Наиболее широко древесина применяется в столярно-мебельной промышленности. Это обуславливается технологичностью её обработки, низкой теплопроводностью, незначительным коэффициентом температурного расширения, малой плотностью при сравнительно высокой технологической прочности, эстетическими свойствами.

Однако наряду с преимуществами древесина имеет ряд существенных недостатков. К ним относятся анизотропия материала, неоднородность свойств в одной древесной породе и даже в различных

участках одного и того же ствола дерева, низкая биостойкость, способность поглощать и испарять влагу, что характеризует нестабильность размеров, физико-механических и технологических свойств. Древесина мягких лиственных пород характеризуется ещё и пониженными показателями прочности и твёрдости.

3.1. Способы улучшения физико-механических свойств древесины

Облагораживание – это улучшение природных свойств древесины, которое позволяет более рационально и эффективно использовать этот ценный материал. В настоящее время разработаны и изучены несколько способов облагораживания древесины (описаны ниже).

Облагораживание сушкой

Переработка пиломатериалов без предварительной сушки до требуемой влажности неизбежно влечёт за собой деформацию, коробление, трещины, образование поверхности, трудно поддающейся отделке, недостаточную способность к склеиванию и прочие дефекты. Значение сушки заключается в том, чтобы до минимума ограничивать или полностью предотвратить потери древесины, рационально её использовать, благодаря чему можно снижать потребность деревообрабатывающей промышленности в этом ценном материале.

В пиломатериалах естественной влажности содержится вода в виде жидкости и водяного пара. Как органическое высокопористое и гигроскопичное вещество древесина постоянно стремится к такому состоянию, при котором давление водяных паров вещества приходит в равновесие с давлением водяных паров непосредственного его окружения. Для достижения этой цели, древесина должна отдавать влагу в окружающую среду или забирать из этой среды, т. е. «работать». Так как размеры предметов из древесины должны иметь определённую стабильность, эта «работа» является нежелательным сопутствующим явлением, связанным с изменением влажности предметов. Таким образом, задачей сушки является удаление из пиломатериалов перед её переработкой некоторой части влаги.

Следующей задачей является сушка пиломатериалов за наиболее короткое время, а также с минимальными затратами при сохранении качества древесины. Разность между влажностью внутренних и наружных слоёв пиломатериалов перед их обработкой должна быть

минимальной. Эта разность в зависимости от толщины и плотности древесины не должна превышать 1,5–5 %.

Основным действием сушки является улучшение механико-технических свойств древесины, её биозащита. Удалить влагу из такого гигроскопического вещества, каким является древесина, можно химическими, механическими и термическими способами. При облагораживании сушкой из древесины лишь удаляется лишняя влага, придавая тем самым древесине повышенную формоустойчивость, при этом физико-механические и гигроскопические свойства фактически не изменяются.

Облагораживание пропиткой

Пропитка направлена на улучшение физико-механических свойств, повышение устойчивости к биоповреждениям и грибным поражениям.

Доступными в техническом и экономическом смысле средствами нельзя полностью устранить гидрофилию, удаётся лишь замедлить процессы обмена между водой и древесиной. Однако это во многих случаях значительно улучшает её свойства.

Разбухание и усадка являются основными видами проявления гигроскопических свойств древесины. Предотвратить разбухание можно с помощью, например, водо- и паронепроницаемой плёнки или покрытия. Кроме того, существуют следующие способы: введение гидрофибрирующих материалов в полость клеток (первая ступень), а также в систему их стенок (вторая ступень); химическое или физическое изменение гидроксильных групп древесины, которые главным образом влияют на её гигроскопические свойства.

Благодаря введению в древесину различных добавок удаётся замедлить процесс взаимодействия между водой и древесиной, но при этом прочностные свойства древесины не изменяются.

Облагораживание механическим давлением

Если под действием внешнего давления снижается объём пор в древесине и тем самым увеличивается плотность, этот способ приводит к получению прессованной массивной древесины. Процесс осуществляется в зависимости от породы, температуры, влажности древесины и от давления таким образом, чтобы не происходило существенного разрушения структуры.

Под действием внешнего давления удаётся повысить прочностные качества древесины, но при этом гигроскопические свойства не изменяются.

Облагораживание гидротермическим воздействием

Пропаривание древесины, т. е. воздействие на неё водой или водяным паром и теплом приводит к сильному повышению пластичности и тем самым к размягчению, что, например, может быть использовано при производстве фанеры и формованной массивной древесины. Пропаривание изменяет также и окраску большинства пород, вызывает в зависимости от технологии проведения этого процесса вымывание смол, жиров и прочих составных частей древесины и приводит к незначительному уменьшению разбухания. При правильном проведении процесса пропаривания снижение прочности под действием гидролитического эффекта незначительное.

Облагораживание гидротермическим воздействием направлено в обратном направлении – на достижение размягчения древесины.

Облагораживание облучением

Эффекты воздействия на древесину лучей (жёсткое облучение) были изучены в 60-х годах XX века в связи с исследованиями, проводимыми на древесных материалах с использованием в качестве связующего пластиков (полимерная древесина).

Основным действием облучения является снижение степени полимеризации целлюлозы, что отчётливо можно измерить при дозах 10 Мрад. Это приводит к снижению прочности на растяжение. Так как лигнин обладает более высокой стойкостью к излучению чем целлюлоза, то при малых дозах (приблизительно до 2 Мрад) наряду с деполимеризацией целлюлозы образуются сетчатые молекулы. При дозах облучения приблизительно 0,3 Мрад незначительно повышаются прочность на изгиб, прочность на сжатие и ударная прочность. При дозах от 1 Мрад все показатели прочности снижаются [41].

Модифицирование древесины

Отдельным пунктом в области улучшения физико-механических свойств древесины является ее модифицирование. Под модификацией древесины следует понимать направленное улучшение её свойств, придание ей новых положительных качеств, устранение природных недостатков для более широкого и полного использования в промышленности.

Модифицированную цельную древесину получают путём изменения структуры древесины и её компонентов физическими и химическими методами на различных структурных уровнях. Представляя древесину как композит, состоящий из материала клеточных стенок и пустых полостей клеток определённой формы, методы её модифицирования условно можно разделить на:

- физические – это модифицирование древесины за счёт уменьшения относительного объёмного содержания полостей клеток древесины путём прессования поперёк волокон или их наполнения инертными материалами;

- химические – это обработка древесины различными химическими веществами, изменяющими состав и свойства материала клеточных стенок.

В большинстве существующих технологий обычно сочетаются физические и химические методы модифицирования, изменяющие природную структуру древесины.

Модификацией древесины мягких лиственных пород занимались и занимаются многие научно-исследовательские организации, однако разработанные методы не нашли широкого применения в производстве паркета.

Модифицированная древесина представляет собой новый материал, в котором сохраняется анатомическое строение древесины, но значительно повышаются её физико-механические свойства. Для того чтобы различные виды модифицированной древесины нашли применение не только как заменители того или другого материала, но и как полноправные и перспективные композиционные материалы, необходимо провести комплекс исследований, направленный на создание определённых видов модифицированной древесины с желаемыми свойствами.

В зависимости от природы протекающих процессов все методы модификации цельной древесины можно разделить на следующие группы:

- 1) изменение анатомической макроструктуры древесины под воздействием физических факторов (например, прессование, термообработка);

- 2) изменение тонкой структуры клеточных стенок под воздействием физических и химических факторов (например, гидротермическая обработка, пластификация под действием аммиака);

3) изменение природы активных функциональных групп высокомолекулярных компонентов древесины (например, этерификация, окисление и т. д.);

4) повышение биостойкости древесины путём её пропитки химическими реагентами, обладающими антисептическими свойствами;

5) изменение проницаемости древесины путём заполнения пористой структуры высокомолекулярными соединениями (например, петролатумом, полиэтилен гликолем и т. п.);

6) поперечная сшивка высокомолекулярных реагентов (например, формальдегида);

7) введение в макроструктуру древесины синтетических смол с их последующим отверждением;

8) получение древесно-пластических материалов при введении в микроструктуру мономерных соединений с их последующей химической прививкой на полимерные компоненты древесины радиационно-химическим или термокаталитическим методом.

При практическом осуществлении процессов модифицирования, как правило, осуществляется комбинация различных методов.

В настоящее время определилось два основных метода модифицирования цельной древесины – модификация с уплотнением и без уплотнения (рис. 3.1).

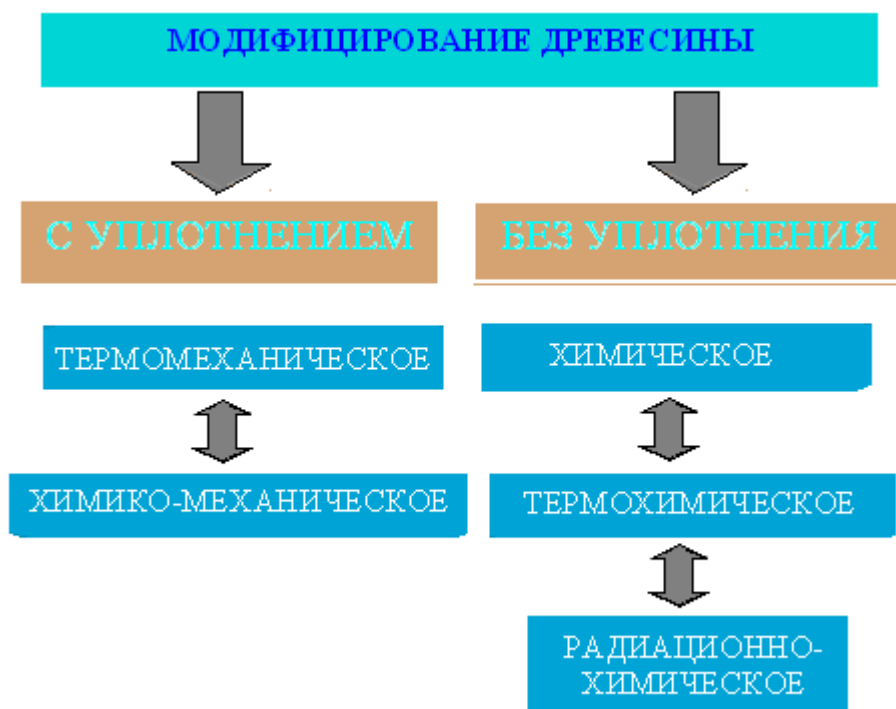


Рис. 3.1. Виды и методы модифицирования древесины

Основная операция всех способов модифицирования с уплотнением является прессование предварительно нагретой, пропаренной, химически обработанной (пластифицированной или наполненной олигомерами различных высокомолекулярных соединений) цельной древесины.

Термомеханическое модифицирование древесины наиболее изучено. По этому методу модифицирования уже разработана не только лабораторная, но и опытно-промышленная технология получения прессованной древесины с предварительным прогревом или пропариванием по ГОСТу 9629-75 «Древесина прессованная. Заготовки».

Для придания прессованной древесине термомеханической модификации специальных (более высоких) заранее заданных свойств ее подвергают тепловой обработке или пропитке различными веществами под давлением в вакууме или при нагреве в открытых ваннах. Тепловая обработка прессованной древесины необходима для стабилизации формы и размеров изготавливаемых из неё деталей.

Процесс термомеханического модифицирования древесины наиболее прост и доступен любому лесоперерабатывающему предприятию. Для усиления или придания прессованной древесине определённых свойств её вторично модифицируют термообработкой, пропиткой или наполнением с термообработкой. В результате чего ей придают формо- и биостойкость, повышенную прочность, хорошую антифрикционность и т. д. В результате пропитки прессованной древесины маслами получают самосмазывающийся антифрикционный материал. Особенно большой эффект достигается при пропитке маслами с добавками из полиэтилена и фторопласта.

Металлизация прессованной древесины достаточно подробно исследована, и разработана технология ее получения [42]. Способ металлизации заключается в погружении детали прессованной древесины в сосуд с расплавленным металлом под давлением.

Способом термомеханической модификации удаётся в достаточной мере повысить прочностные свойства древесины, но гигроскопичность остается без изменений.

Химико-механические модификации – это высокопрочные композиции, получаемые наполнением или пропиткой цельной древесины с последующим уплотнением её клеток и термообработкой или полимеризацией наполнителя внутри древесины. На основе химико-механического модифицирования с наполнением создаются прессованные древесно-полимерные материалы. Процессы наполнения и уплотнения цельной древесины, а также полимеризации наполнителя в древесине достаточно подробно изучены [43].

Модифицирование древесины способом наполнения её высокомолекулярными соединениями до различных концентраций с последующим уплотнением до различной степени и с полимеризацией наполнителя позволяет получить целый ряд новых древесно-полимерных материалов с заданными свойствами, обеспечивающими долговечность, технологичность и эффективность работы деталей, изготавливаемых из этих материалов.

Благодаря химико-механическому способу модифицирования древесины удаётся добиться комплексного улучшения свойств древесины – в значительной степени повысить её прочностные свойства и гигроскопичность.

Кроме модифицирования древесины с уплотнением создан целый ряд способов модифицирования её без уплотнения. К ним относятся термохимическое, химическое и радиационно-химическое модифицирование.

Термохимическое модифицирование древесины наиболее доступно деревообрабатывающим предприятиям. Пропитка древесины смолами принципиально не отличается от пропитки её антисептиками и антипиренами, а термообработку пропитанных смолами изделий можно с успехом проводить в обычных сушильных камерах.

Методом термохимического модифицирования древесины не удаётся повысить её прочностные свойства.

Радиационно-химическое модифицирование древесины разработано филиалом научно-исследовательского физико-химического института им. Л.Я. Карпова. Сущность этого метода заключается в следующем: заготовки из натуральной древесины влажностью 8–12 % загружают в металлический контейнер, который герметизируют. Затем заготовки вакуумируют до остаточного давления 0,005–0,13 МПа в течение 20–30 минут и потом подают раствор мономера или смеси мономеров, в результате чего они пропитываются.

Продолжительность процесса колеблется от нескольких десятков минут до нескольких часов в зависимости от размеров и породы заготовок. После пропитки избыток мономера сливают, контейнер с пропитанной древесиной заполняют инертным газом (например, азотом) и подают в камеру облучения, где под действием гамма-лучей инициируется полимеризация мономеров в капиллярах и плоскостях клеток древесины.

Процесс модификации древесины включает в себя несколько важных вопросов, от того или иного решения которых будет зависеть конечный результат. Это, прежде всего, вид модификации, пропиточный

материал, способ пропитки, гомо полимеризация, привитая сополимеризация или поликонденсация мономеров и высокомолекулярных компонентов древесины и другие немаловажные вопросы.

В облагораживании древесины пропитка занимает ведущее место. Способность древесины пропитываться связана с пористо-капиллярным строением, позволяющим вводить в неё различные жидкие вещества – растворы, эмульсии, суспензии. Проникновение их в древесину основано на диффузии, капиллярном впитывании и введении пропитывающих веществ под действием разности давлений внутри и вне древесины.

На глубину пропитки древесины влияние оказывает целый ряд факторов:

- а) анатомическое строение древесины;
- б) молекулярная масса, вязкость, полярность и поверхностное натяжение мономеров или олигомеров;
- в) технология пропитки.

С точки зрения анатомического строения легче всего пропитывается древесина лиственных пород (берёза, ольха, бук, осина и др.). Хвойные породы пропитываются хуже, хотя сосна, кедр и лиственница могут быть пропитаны достаточно полно (плохо пропитываются ель и пихта).

Мономерные соединения сравнительно легко пропитывают древесину различных пород, проникая в тонкую структуру клеточной стенки. При использовании не отвержденных синтетических смол, представляющих смесь олигомерных звеньев с различной степенью полимеризации, применяется автоклавная пропитка с периодическим созданием в системе вакуума и давления. Установлено, что для целей модификации наиболее пригодны смолы, обладающие низкой вязкостью и полярностью, легко проникающие в древесину и отверждающиеся при температурах до 100–150 °С.

Смолы, придающие древесине высокие физико-механические свойства, должны иметь сравнительно низкую молекулярную массу и располагаться в межмолекулярных пространствах клеточных стенок. Высокомолекулярные и относительно более вязкие смолы размещаются в основном в полостях клеток. Такие полимеры могут значительно повышать прочностные свойства древесины при статических и ударных нагрузках, не изменяя существенно гидрофильности.

Предложенные в разное время пути защиты и облагораживания древесины пропиткой разделяются на следующие основные группы:

1. *Первая группа объединяет способы капиллярной пропитки с поверхности на сравнительно небольшую глубину без приложения давления или создания вакуума.* Это, например, погружение заготовок или деталей в ванну и выдержка продолжительное время для заполнения сосудов и пор. При вымачивании жидкость проникает в древесину за счёт капиллярного давления в проводящих элементах древесины и диффузии. Температура в ванне устанавливается в зависимости от свойств полимера (олигомера или мономера) и выступает главным образом для поддержания необходимой вязкости и лучшей впитываемости. Процесс протекает очень медленно и неглубоко, поэтому этот способ применяется очень редко.

К этой же группе можно отнести поверхностное нанесение полимеров. Для этих целей применяют многокомпонентные составы, впитывающиеся в древесину без образования поверхностной плёнки, бесцветные или пигментированные водо- и органорастворимые средства. В отличие от лакокрасочных покрытий препараты подобного типа не образуют плёнок, а пропитывают поверхностный слой древесины на глубину 2–4 мм. В результате образуется оболочка из модифицированной древесины, обладающая высокой биостойкостью и прочностью. Защитно-декоративные составы можно наносить с помощью валика, кисти, пневматическим способом или методом окунания.

Поверхностное нанесение редко применяется в модифицировании древесины, так как трудно достичь глубокой пропитки древесины, упрочняется лишь поверхностный слой. Примеров такой обработки немного. Это, например, защитно-декоративный препарат Xyladecor (Германия), препараты типа Pinotex (Финляндия).

2. *Вторая группа – капиллярная пропитка с принудительным внедрением полимера в древесину по методу горячее-холодной ванны.* Метод основан на явлении вакуумного всасывания жидкости при охлаждении воздуха в порах древесины, перемещаемой из горячей ванны в холодную. При этом древесина должна иметь влажность ниже 30 %. Уровень пропиточной жидкости устанавливают на 80–100 мм выше обрабатываемой детали, температура жидкости в горячей ванне 90–95 °С, а в холодной – 20–40 °С. Способ пропитки в горяче-холодных ваннах прост и эффективен; он получил широкое распространение при обработке древесины. Способ может быть рекомендован для обработки древесины водорастворимыми олигомерами.

3. *Третья группа – пропитка древесины под давлением по следующим вариантам:*

а) способ полного поглощения с использованием вакуума и давления: перед пропиткой древесина подвергается вакуумированию, воздух выкачивается из сосудов и пор, которые при последующем давлении заполняются раствором;

б) способ ограниченного поглощения по режиму давление-вакуум (для удаления излишнего раствора);

в) способ ограниченного поглощения по режиму: предварительное воздушное давление – давление жидкости – вакуумирование. Давление в автоклаве не превышает 2 МПа (обычно 1,2–1,4 МПа), глубина предварительного и конечного вакуума не выше 7,4 МПа при продолжительности вакуумирования 30 минут. Этот способ нашёл широкое распространение при пропитке древесины различными полимерами (мономерами, олигомерами).

При модификации древесины термохимическим способом, когда применяются водорастворимые фенолоформальдегидные, карбамидоформальдегидные, карбамидомеламинаформальдегидные олигомеры или растворимые в органических соединениях фурановые, полиэфирные, кремнийорганические полимеры и некоторые виниловые мономеры, пропитка производится по способу полного или ограниченного поглощения. При этом условная вязкость пропиточных растворов по вискозиметру ВЗ-4 должна составлять 11–14 с при температуре 20 °С. Остаточное давление при вакуумировании должно быть 10–13 МПа, рабочее давление – 0,8–1,2 МПа. Степень поглощения раствора – 30–80 % от массы исходной древесины, влажность древесины перед пропиткой должна составлять 10–15 %.

Процесс пропитки древесины может быть в несколько раз ускорен *ультразвуковыми колебаниями*. Этот эффект основан на явлении повышенной проницаемости пористых тел под действием ультразвука. В отдельных случаях проницаемость возрастает в 10–12 раз. Применительно к модифицированию древесины полимерами этот способ исследован В.Ф. Аненковым в УкрНИИМОД и показал положительные результаты.

3.2. Материалы, применяемые для получения модифицированной древесины

Для получения древесно-полимерных материалов в качестве пропитывающих составов применяют мономеры, их смеси, полимерные

смолы, пластические массы в суспензиях или растворах. Структурная схема классификации исходных веществ для получения модифицированной древесины приведена на рисунке 3.2.



Рис. 3.2. Структурная схема классификации химических соединений, применяемых для модифицирования древесины

Большинство применяемых в настоящее время полимеров и мономеров не предназначены специально для модификации древесины, а имеют другое прямое назначение, поэтому им присущи некоторые недостатки, выявленные либо на стадии пропитки, либо в процессе эксплуатации изделий. Результаты многочисленных исследований позволяют сформулировать основные требования, предъявляемые к модификаторам древесины:

а) должен иметь предельно низкую вязкость, малую испаряемость, обладать полярностью для лучшего проникания в капиллярную структуру древесины и физико-химического взаимодействия с компонентами древесины;

б) его отверждение не должно сопровождаться значительной усадкой, требовать сильного нагрева. Отверждённый модификатор

должен обладать высокой стойкостью к действию воды, кислот, щелочей, быть прочным при статическом и динамическом нагружении.

Свойства древесины, пропитанной полимерами, зависят от многих факторов, в первую очередь, от химической природы и механизма отверждения полимера, от степени пропитки им древесины. Например, *метилметакрилат* сравнительно легко пропитывает древесину.

Молекулы полимера, проникая в стенки клеток, увеличивают прочность древесины при сжатии вдоль волокон примерно в 2 раза, поперёк волокон – в 4–6 раз. Вдвое снижается её истираемость, более чем вдвое снижаются водо- и влагопоглощение, а также разбухание в воде. При этом скорость набухания замедляется почти в 10 раз.

Наряду с метилметакрилатом для пропитки древесины используют *стирол*, хотя по модифицирующим свойствам он заметно уступает метилметакрилату, в частности, он менее полярен.

Существенно изменяются свойства древесины при модифицировании её *фенолоспиртами*. Обладая высокой полярностью, молекулы фенолоспиртов легко проникают в стенки клеток, вызывая утолщение вторичных оболочек и увеличение размеров образцов. Заметно возрастает прочность древесины, особенно при сжатии поперёк волокон примерно в 2–3 раза. Недостатком фенолоспиртов как агента для модификации древесины является снижение в 1,5–2 раза показателя ударной вязкости, что обусловлено высокой хрупкостью отверждённого полимера.

Хорошие результаты достигаются при модификации древесины *фурановыми соединениями*, которые также легко проникают в микроструктуру древесины и после отверждения термokatалитическим способом упрочняют её. В результате модификации фурановыми соединениями прочность древесины при сжатии повышается в 1,5–2 раза, вдвое возрастает твёрдость, в 1,5 раза снижается истираемость.

Для пропитки древесины пригодны также некоторые *полиэфирные полимеры*, но практически нашла применение только одна смола ПН-1 (общего назначения).

Наиболее глубоко изучена модификация древесины *синтетическими смолами* – фенолоформальдегидными, карбамидоформальдегидными, фурановыми, полиэфирными и др. Основные работы по их исследованию проведены в Белорусском технологическом институте. Получен ряд новых материалов с улучшенными по сравнению с натуральной древесиной физико-механическими свойствами. Исследованы фенолоспирты, фенолоформальдегидные смолы СБС-11, ЛБС-1, С-1, БТИ-1, ЛАФ и др., смолы фуранового ряда (ФА, ФЛ-2, ЛФ-1,

ФАЭ-2). Все эти смолы позволяют получить модифицированную древесину с высокими физическими свойствами, которая применяется для технических целей (в конструкциях градилен, в деталях машин, в опалубке и т. д.). Однако они практически непригодны для столярно-строительных изделий и мебели, так как окрашивают древесину в неравномерные коричневые цвета. Кроме того, эти смолы спирторастворимы, и требуется большой расход этилового спирта для получения пропиточного раствора.

Институт химии древесины Академии наук Латвии разработал технологию и оборудование для получения пластифицированной древесины путём обработки её *аммиаком* с последующим уплотнением.

В Воронежском лесотехническом институте разработана технология модификации древесины с предварительной обработкой *растворами мочевины*. Полученная древесина имеет более высокую водо- и влагостойкость и может быть применена в производстве паркета.

Однако эти методы модификации мягких лиственных пород не нашли широкого применения в промышленности (кроме полупромышленных экспериментальных установок небольшой мощности) из-за сложности технологии, применения токсических веществ (особенно полимеров), увеличения дополнительных расходов.

3.3. Процесс полимеризации наполнителя при модификации древесины

Завершающая операция технологического процесса получения модифицированной древесины – полимеризация введённого наполнителя. Как уже отмечалось выше, в практике получения древесно-полимерных материалов известен ряд способов полимеризации наполнителей – термический, радиационный, химический, термохимический и др. Все они имеют свои преимущества и недостатки и могут быть применены в зависимости от вида наполнителя, свойств получаемых материалов и технологических особенностей производства.

Преимуществом, например, радиационной полимеризации является возможность проведения процесса при нормальной температуре, контроль скорости полимеризации, отсутствие катализаторов, которые могут вызвать старение и деструкцию наполнителя. Однако радиационные способы характеризуются технологическими трудностями, связанными с мерами безопасности, сложностью оборудования и т. д.

Термический способ отличается доступностью и простотой, но он не всегда позволяет осуществить равномерную полимеризацию и требует повышенной температуры.

Химический и термохимический способы характеризуются длительностью процесса, необходимостью применения катализаторов, свободные остатки которых могут снижать свойства материалов. Выбор температуры полимеризации обуславливается видом и свойствами применяемого наполнителя. Для смол фенольного ряда температура составляет 155–165 °С, карбамидных – 130–140 °С, полиэфирных – 80–150 °С.

Качество древесно-полимерных материалов в значительной степени зависит от полноты и равномерности полимеризации наполнителя, что зависит от продолжительности тепловой обработки. Сушка пропитанной древесины и термообработка для отверждения полимера производятся в сушильной камере конвективного типа. Режим сушки устанавливается в зависимости от породы, начальной влажности древесины и толщины материала.

Наиболее удобное термокаталитическое отверждение пропиточных растворов в древесине рекомендуется проводить по двухступенчатому режиму: сушка со ступенчатым подъёмом температуры в интервале 40–150 °С до остаточной влажности не более 12 %, термообработка – при 150–170 °С, охлаждение и кондиционирование при 18–23 °С – не менее 1 часа.

3.4. Применение модифицированной древесины

Спектр возможного применения модифицированной древесины очень широк, но пока существуют только несколько промышленных технологий, нашедших применение в производстве. В основном это машиностроительные детали.

Наибольший интерес представляет использование модифицированной древесины для изготовления лицевого покрытия пола. Паркет является наиболее качественным покрытием для пола по эксплуатационным и декоративным свойствам. Спрос на паркетные изделия постоянно растёт, а если учесть, что на каждые 100 м² паркетных досок расходуется около 2,5 м³ древесины ценных твёрдолиственных пород, то в ближайшие годы дополнительно потребуются десятки тысяч кубометров древесины дуба, ясеня и бука.

Сдерживающим фактором в развитии паркетных производств является ограниченный запас древесины твёрдолиственных пород,

необходимых для изготовления лицевого покрытия паркета, в связи с чем особое значение приобретает задача замены дефицитных твёрдо-лиственных пород доступными материями.

Срок службы паркетного пола из дешёвых мягко-лиственных пород небольшой: такой паркет приходит в негодность за несколько лет. Одним из выходов в этой ситуации может являться применение модифицированной древесины мягко-лиственных пород. Она может использоваться в качестве лицевого покрытия для всех видов паркета: штучного, мозаичного, паркетных щитов и паркетных досок, что позволит снизить в 2,5–3 раза расход древесины ценных пород.

С целью установления единой номенклатуры показателей качества паркетных изделий разработан ГОСТ 4.223-83 «СПКП. Строительство. Изделия паркетные. Номенклатура показателей». Наиболее важный и сложный из его критериев – технический уровень – содержит показатели:

- назначение (механическая прочность, биостойкость, водостойкость и др.);
- уровень исполнения (предельные отклонения, влажность, шероховатость и др.);
- надёжность (срок службы, срок хранения);
- технологичность (трудоёмкость, материалоёмкость, расход материалов и электроэнергии);
- транспортабельность;
- эргономичность;
- эстетичность.

Паркет из модифицированной древесины наиболее полно удовлетворяет пунктам этого критерия (особенно механическая прочность, срок службы, биостойкость). Данный вопрос подробно изучался и изучается в настоящее время.

В институте химии древесины Академии наук Латвии разработан метод производства паркета из пластифицированной древесины мягких лиственных пород аммиаком. Были достигнуты неплохие результаты для древесины берёзы, осины и ольхи. Проводились также опыты по модифицированию древесины мягких лиственных пород фенолформальдегидной смолой СБС-11. Такая древесина обладает значительной износостойкостью и имеет хороший внешний вид.

В промышленных масштабах выпускают лицевое покрытие для паркетных изделий из древесины, модифицированной метилметакрилатом, винилацетатом, стиролом, акрилонитрилом.

Разработан оригинальный материал для настилки пола – паркетлит. Эти плитки представляют собой двухслойную конструкцию, состоящую из облицовочного слоя и основания. Для облицовочного слоя применяется строганный или лущёный шпон древесины твёрдых лиственных пород толщиной 4 ± 1 мм или даже пиленые доски, а для основания – прессованная измельчённая древесина (опилки и станочная стружка), осмолённая связующими.

Существуют технологии производства лицевого слоя для паркетных изделий из шпона лиственных пород (берёзы, осины, ольхи, тополя), пропитанного термореактивным олигомером или аммиаком. Шпон из модифицированной древесины берёзы при плотности 900 кг/см^3 по свойствам приближается к древесине дуба, ясеня.

Производство паркетных промышленных покрытий пола развивается и за рубежом: в США, Японии, Финляндии, Германии, Швеции. Так, финские фирмы «Фискарс» и «Тохсе» разработали технологию и выпускают пористые покрытия из древесины берёзы, модифицированной полиэфирными полимерами.

Как известно, эти полимеры, обладая прозрачностью и хорошей окрашиваемостью, создают благоприятные условия для выработки высокохудожественной и долговечной продукции. Древесину берёзы пропитывают полимером в автоклаве по режиму «вакуум – давление», затем нагревают в камере при 70°C и далее прессуют в нагретом состоянии в течение 10 минут при небольшом давлении.

Большинство известных на сегодняшний день технологий, способов модифицирования древесины для паркетных изделий и материалов, которыми пропитывают эту древесину, позволяют получить паркетные изделия из древесины мягких лиственных пород с эксплуатационными и физико-механическими свойствами, практически не уступающими древесине твёрдых лиственных пород.

Главными недостатками этих технологий, из-за которых данные процессы не могут получить полноценного промышленного внедрения, являются: увеличение расхода материалов (синтетических смол и отвердителя для пропитки), увеличение расходов на электроэнергию (прессование или термопрокат), применение токсичных смол для пропитки древесины, что в свою очередь увеличивает расходы на нейтрализацию выделения вредных веществ.

Физико-механический метод модифицирования древесины позволяет достичь 2 важных целей: повышения физико-механических свойств и обеспечения гидрофобности древесины. При этом получается монолитный материал с заранее заданными свойствами.

Исходя из вышеизложенного, можно предположить, что, используя древесину, модифицированную физико-механическим методом для лицевого покрытия паркета, можно заменить ею древесину ценных твёрдолиственных пород и благодаря свойству гидрофобности и приятному внешнему виду после прессования исключить из технологического процесса операцию отделки.

Метод физико-механического модифицирования древесины (заполнение пор древесины каким-либо компонентом, обладающим высокими механическими характеристиками и уплотнение собственно древесины) позволяет варьировать свойства получаемого материала в широком диапазоне путём подбора наполнителя. Но на сегодняшний день широкого применения это не находит из-за трудности введения наполнителя в пористую структуру древесины (особенно при изготовлении сравнительно крупногабаритных изделий).

Использование методов увеличения проницаемости древесины (нагнетания под давлением, многократной пропитки и т. п.) резко увеличивает стоимость конечных изделий. Но в ряде случаев дополнительные затраты будут оправдывать себя и сравнительно быстро окупаться. Так, паркет, изготовленный из чистой необработанной древесины берёзы с нанесением только лакокрасочного покрытия, обладает сроком службы не более двух лет. После этого срока (из-за невысокого показателя сопротивления смятию) с поверхности сходит лакокрасочное покрытие и древесина оказывается незащищённой перед всеми негативными факторами. Паркет приходит в полную негодность. Мероприятия по замене или восстановлению паркета требуют совсем немалых затрат.

При использовании в качестве лицевого покрытия паркета древесины, модифицированной физико-механическим способом, получается уникальное покрытие из монолитного материала, которое не боится вредного воздействия многих негативных факторов. Ему не страшны ни повышенные нагрузки, ни воздействие воды. Он отличается повышенной химической, атмосферо- и биостойкостью. Также он имеет приятный внешний вид и не требует отделки.

3.5. Теоретические предпосылки получения материала с улучшенными физико-механическими свойствами

При исследовании существующих разработанных технологий по модифицированию древесины выясняется, что большинство методов модифицирования включает в себя пропитку древесины с

практически полным поглощением (от 80 до 125 % содержания раствора в древесине). При этом происходит большая затрата пропитывающего материала, энергии и усилий для обеспечения глубокого проникновения этого материала в древесину с последующим его отверждением внутри древесины.

Однако в большинстве случаев применения модифицированной древесины такая глубина пропитки не требуется. Например, в строительстве и мебельной промышленности, где может применяться модифицированная древесина с проникновением пропитывающего материала только в граничные слои древесины.

Здесь и возникает вопрос нахождения оптимальной величины степени поглощения древесиной пропитывающего материала, или, другими словами, глубины его проникновения в древесину.

Для определения оптимальной величины степени поглощения древесиной пропитывающего материала очень удобно представить паркетную планку в виде трёхслойной панели, у которой в качестве среднего слоя будет чистая, непропитанная и неуплотнённая древесина, а в качестве обшивки будут обе пропитанные и уплотнённые пласти паркетной планки. Модель такой трёхслойной панели приведена на рисунке 3.3.

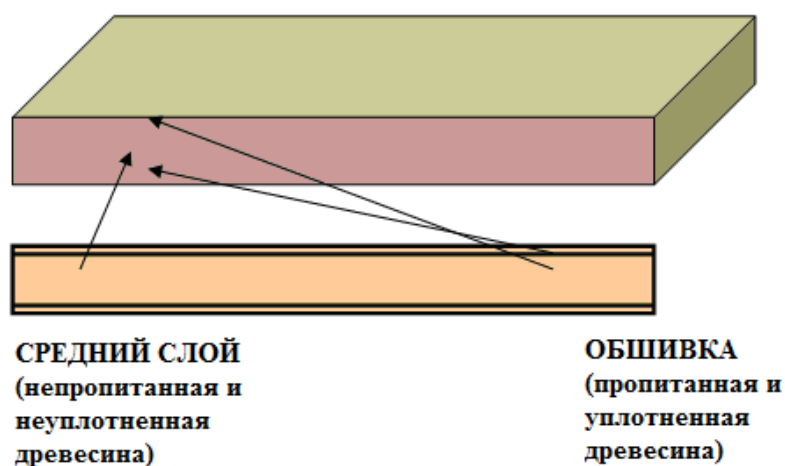


Рис. 3.3. Модель трёхслойной панели

По теории [44] трехслойные панели состоят из двух тонких и жёстких наружных слоёв – обшивок и располагаемого между ними среднего более толстого слоя.

Обшивки выполняют следующие функции:

- воспринимают нормальные напряжения, вызванные изгибающим моментом;

– воспринимают (вместе со средним слоем) местные сосредоточенные нагрузки.

Средний слой панели выполняет следующие функции:

- 1) воспринимает касательные напряжения, вызванные поперечной силой;
- 2) обеспечивает совместность работы обеих обшивок;
- 3) повышает устойчивость сжатой обшивки;
- 4) участвует вместе с обшивкой в восприятии местных сосредоточенных нагрузок;
- 5) исполняет роль тепло- и звукоизоляции.

Расчётной схемой плоских трёхслойных панелей, стен и покрытий, как правило, является однопролётная балка. В некоторых случаях с целью уменьшения величины изгибающих моментов и прогибов панель при достаточно большой длине может быть уложена на три опоры и более. Тогда усилия в ней вычисляются как в многопролётной неразрезной системе, но с учётом дополнительных деформаций, вызванных сдвигом среднего слоя.

Напряжённо-деформированное состояние трёхслойной панели вызывается тремя основными факторами:

- внешними нагрузками (от собственной массы, приложенного усилия и т. п.);
- температурными воздействиями;
- изменением влажности элементов панели.

Действие последних двух факторов, объединяемых термином «температурно-влажностные воздействия», вызвано трёхслойной структурой панелей, при которой обшивки разделены достаточно толстым третьим элементом – средним слоем, обладающим небольшой теплопроводностью. В такой панели температура и влажность внешней обшивки будут соответствовать температуре и влажности наружной атмосферной среды, а аналогичные состояния внутренней обшивки – температуре и влажности воздуха внутри помещения. Таким образом, в условиях эксплуатации каждая из обшивок будет иметь температуру и влажность, отличающиеся, во-первых, от её исходного состояния (соответствующего условиям цеха, где панель была изготовлена) и, во-вторых, от температуры и влажности другой обшивки.

Вследствие этого в обшивках и других элементах панели будут возникать температурно-влажностные деформации и напряжения. Учёт одновременного действия всех трёх факторов при их не

выгоднейшем сочетании позволяет записать условия прочности и жёсткости для трёхслойных панелей:

$$\sigma + \sigma_t + \sigma_w \leq R, \quad (3.1)$$

$$\tau + \tau_t + \tau_w \leq R_{cp}, \quad (3.2)$$

$$f + f_t + f_w \leq f_{np}. \quad (3.3)$$

где σ , τ и f – соответственно нормальные, касательные (сдвигающие) напряжения и прогибы, вызванные внешней нагрузкой;

σ_t , τ_t и f_t – те же величины, вызванные изменением температуры (температурные напряжения);

σ_w , τ_w и f_w – те же величины, вызванные изменением влажности;

R – величина внешней нагрузки;

R_{cp} – температурные напряжения;

f_{np} – влажность.

Для панелей с металлическими и стеклопластиковыми обшивками учитывают только напряжения и прогибы, вызванные изменением температуры. Увлажнение не вызывает у этих материалов набухания, коробления и т. п. и поэтому для них $\sigma_w = 0$, $\tau_w = 0$ и $f_w = 0$.

Для панелей с обшивками из асбоцемента, фанеры и других материалов, обладающих незначительным коэффициентом температурного расширения наоборот: можно принять, что $\sigma_t = 0$, $\tau_t = 0$ и $f_t = 0$, но зато учесть σ_w , τ_w и f_w , вызванные возможным увлажнением.

В нашем случае паркетные планки испытывают только нормальные напряжения. Так как планки прочно приклеены к основанию, они не испытывают ни касательных напряжений, ни прогибов. Кроме того, поскольку слой упрочнённой древесины (который исполняет роль обшивки) имеет незначительный коэффициент температурного расширения, то принимаем $\sigma_t = 0$, $\tau_t = 0$ и $f_t = 0$.

Поскольку обшивкой в данном случае является слой отверждённого полимера, он имеет плотную монолитную структуру и является влагостойким, поэтому принимаем $\sigma_w = 0$, $\tau_w = 0$ и $f_w = 0$. Следовательно, полученная формула приобретает вид:

$$\sigma \leq R. \quad (3.4)$$

Наиболее важным из критериев показателей качества паркетных изделий является механическая прочность. Интересующая нас

прочность наружной обшивки панелей покрытия при действии сосредоточенной нагрузки $p = 120 \text{ кг·с}$ (или $1,2 \text{ кН}$) проверяют по формуле:

$$\sigma = q_1 p (r/\delta)^2 \leq R_u^{kp}, \quad (3.5)$$

где q_1 – коэффициент по расчётному графику (рис. 3.4);

r – радиус равновеликого круга;

δ – перемещение;

R_u^{kp} – величина сопротивления наружной обшивки.

Прочность среднего слоя рассчитывают по формуле:

$$\sigma = q_2 p \leq R_c^{kp}, \quad (3.6)$$

где R_c^{kp} – величина сопротивления среднего слоя.

В этих формулах коэффициенты q_1 и q_2 принимают по расчётному графику, изображенному на рисунке 3.4. Если нагрузка распределена на площадке со сторонами $10 \times 10 \text{ см}$, то $p = 0,12 \text{ МН/см}^2$ ($1,2 \text{ кг·с/см}^2$), а радиус равновеликого круга $r = 5,65 \text{ см}$.

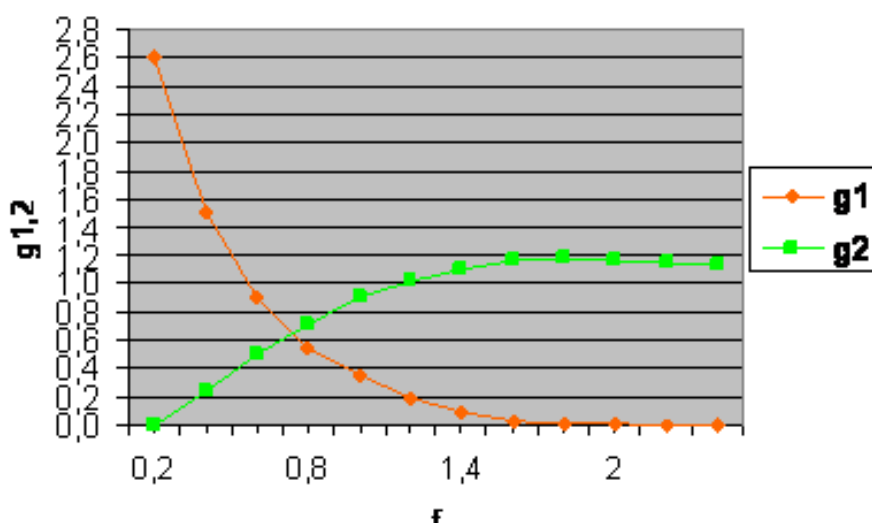


Рис. 3.4. Значения коэффициентов q_1 и q_2

Поскольку сосредоточенная нагрузка p является кратковременной, то при расчёте по этим формулам используют значения кратковременных расчётных сопротивлений R^{kp} и кратковременных модулей упругости E^{kp} .

В нашем случае механическую прочность паркетных изделий в большей мере характеризуют следующие три наиболее важных показателя: твёрдость, сопротивление смятию и износостойкость.

Если твёрдость характеризует прочность по всей глубине верхнего слоя (обшивки), то сопротивление смятию и износостойкость характеризуют прочность крайней поверхности материала. Условие прочности имеет вид:

$$\sigma_{см} = (P/F_{см}) \leq [\sigma_{см}], \quad (3.7)$$

где P – давление;

$F_{см}$ – площадь смятия;

$[\sigma_{см}]$ – допускаемое напряжение на смятие (значения приведены в расчетных таблицах).

Поскольку целью исследований является упрочнение мягколиственной древесины до значения твёрдолиственной, то за эталон возьмём значения физико-механических свойств древесины дуба. Допускаемое напряжение на смятие: для дуба – $36 \text{ кг} \cdot \text{с}/\text{см}^2$, для берёзы – $28 \text{ кг} \cdot \text{с}/\text{см}^2$, для осины – $18 \text{ кг} \cdot \text{с}/\text{см}^2$.

Для того чтобы разобраться в процессах, протекающих в древесине при сжатии её поперёк волокон, рассмотрим диаграмму, приведенную на рисунке 3.5. Согласно ей можно условно считать, что деформация древесины при сжатии поперёк волокон протекает в три фазы.

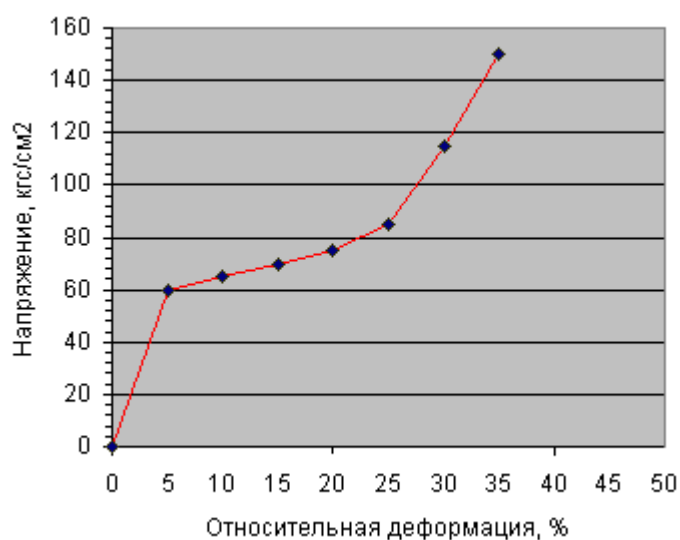


Рис. 3.5. Зависимость деформации от напряжения при сжатии поперек волокон

В первой фазе деформация протекает по плавной кривой и определяется влажностью и температурой древесины.

Во второй фазе деформация протекает или при неизменном давлении, или при небольшом подъёме давления. Фаза занимает участок ε от 3–6 до 30–40 %. Предельная величина деформации здесь определяется объёмным весом древесины (чем выше вес исходной древесины, тем меньше конечная величина деформации в этой фазе, и наоборот).

В третьей фазе деформация протекает по плавной кривой с очень крутым подъёмом. Участок кривой σ – ε , занимаемый этой фазой, пока не удалось определить.

Между первой и второй фазами, а также между второй и третьей наблюдается плавный переход. Зависимость между деформацией и напряжением может быть выражена следующим уравнением [45]:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + \frac{1}{2\eta} \frac{\sigma^2}{v}, \quad (3.8)$$

где ε – общая деформация;

σ – напряжение в кг·с/см²;

E – модуль упругости древесины при сжатии поперёк волокон;

η – коэффициент вязкости материала;

v – скорость нагружения (const).

Этому уравнению подчиняется деформация оболочек любой клетки. Но при одном и том же давлении каждой оболочке клетки свойственно индивидуальное напряжение, по величине зависящее только от её строения (толщины).

Деформация оболочек клеток подчиняется уравнению (3.8) только до определённого значения напряжения. За пределом этого напряжения закон деформации оболочек резко изменяется. Предельным напряжением является критическое напряжение $\sigma_{кр}$. С наступлением критического напряжения оболочки клеток сильно деформируются и сминаются при самом незначительном повышении внешнего давления, и дальнейшая деформация этих оболочек клеток протекает почти при неизменном давлении. Момент начала смятия оболочек клеток является концом первой фазы и началом второй фазы деформации сжатия древесины поперёк волокон.

Во второй фазе сжатия деформация складывается из деформации пластического течения и смятия оболочек клеток ранней древесины

при почти неизменном небольшом давлении и относительной деформации ε оболочек клеток поздней древесины, определяемой по уравнению (3.8). Третья фаза протекает за счёт деформации толстых оболочек клеток поздней древесины. Эти оболочки даже при больших напряжениях не сминаются, а поэтому в этой фазе абсолютная деформация незначительна по своей величине и характеру и мало отличается от деформации первой фазы.

У рассеянно-сосудистых пород древесины в процессе деформации имеется отличие от хвойных в кольце сосудистых пород. Вторая фаза у лиственных рассеянно-сосудистых пород протекает одновременно по толщине годичного слоя. Смятию в этом случае подвергаются тонкостенные клетки, лежащие между сосудами, и сами сосуды.

Обобщая всё вышеизложенное, можно сделать вывод, что древесина при сжатии поперёк волокон ведёт себя как разнородная слоисто-трубчатая система. При одной степени напряжённости деформируются одни её элементы, при другой – другие. Кроме того, характер деформации при этом резко меняется. Так, характер деформации первой и третьей фазы по своей физической природе резко отличаются от характера деформации второй фазы. В первом случае деформация протекает в области неполной упругости за счёт упругой и остаточной деформации, во втором случае – главным образом за счёт пластического течения и за счёт смятия отдельных элементов древесины.

И, наконец, при одном и том же характере деформации абсолютная величина деформации зависит от доли участия в строении древесины тех или иных элементов. Это указывает на то, что процесс деформации сжатия древесины поперёк волокон на отдельных этапах или фазах протекает по разным законам, а поэтому теоретически найти одно уравнение, удовлетворяющее этому процессу, т. е. кривой σ – ε для всех трёх фаз сжатия, представляет большие трудности.

В данном случае нас интересует в основном первая фаза сжатия. В общей деформации величина упругой деформации для первой и третьей фаз определяются первым слагаемым, входящим в формулу (3.8), т. е.:

$$\varepsilon_y = \frac{\sigma}{E}, \quad (3.9)$$

а величина пластической деформации – вторым слагаемым, т. е.

$$\varepsilon_n = \frac{1}{2\eta} \frac{\sigma^2}{v}. \quad (3.10)$$

3.6. Материалы, используемые в экспериментах, и их характеристика

Для проведения экспериментов в лабораторных условиях использовались образцы из древесины берёзы и осины, их влажность составила $15 \pm 2 \%$ (определяется в соответствии с ГОСТом 16588-79 «Древесина. Метод определения влажности»). Поверхность образцов строганая, они подбираются одинаковой плотности. Размеры образцов: длина – 160 мм; ширина – 32 мм, толщина – 8 мм.

В качестве пропитывающего агента использовалась пропитывающая карбамидоформальдегидная смола СКФП (ТУ 6-06-5751766-44-91). Эта смола представляет собой продукт поликонденсации карбамида и формальдегида и является быстроотверждающейся смолой. Она относится к термореактивным полимерам и при отверждении даёт довольно прочный и жёсткий сетчатый полимер. Отверждение во всех опытах происходит горячим способом, т. е. при повышенной температуре, поэтому отвердителем является хлористый аммоний в количестве 1 массовая часть на 100 массовых частей смолы. Технические требования смолы СКФП приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Технические требования, предъявляемые к смоле СКФП

Наименование показателя	Значение
Внешний вид	Жидкость молочно-мутного цвета без посторонних включений. Расслоение не допускается
Массовая доля сухих веществ, %	45–53
Массовая доля свободного формальдегида, %, не более	0,5
Вязкость условная по вискозиметру ВЗ-4, с	13–15
Концентрация водородных ионов, рН	7,3–8
Время желатинизации при 100 °С с отвердителем, мин	2–5
Плотность при $(20 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$, кг/м ³	1180–1210
Показатель преломления	1,432–1,438
Смешиваемость смолы с водой в соотношении по объёму 1:1	Полная, выпадение осадка не допускается
Пенетрация, в момент изготовления, не более	5
Гарантийный срок хранения, дней с момента изготовления	15

К преимуществам смолы СКФП для целей модифицирования древесины следует отнести низкую вязкость, и, соответственно, деформативность макромолекул, что должно обеспечить глубокое проникновение в граничные слои древесины. Смола при отверждении образует довольно прочный и жёсткий полимер, что полностью удовлетворяет требованиям, т. е. данная смола способна обеспечить значительное упрочнение поверхностного слоя паркетных планок. Малое время отверждения смолы уменьшает время обработки каждой планки, в результате чего уменьшается технологический цикл. Кроме того, смола СКФП является сравнительно дешёвой.

Для используемой в экспериментах смолы СКФП в качестве отвердителя применялся хлористый аммоний (NH_4Cl). Использование его для отверждения смол в деревообработке заключается в следующем: приготавливается 1 %-й раствор хлористого аммония и добавляется в смолу 10 % этого раствора от массы смолы. Смола с отвердителем при 100 °С имеет время желатинизации 2–5 мин.

Одной из главных целей данных исследований является возможность изготовления паркета из традиционных уральских пород древесины – берёзы и осины, которых в данном регионе произрастает достаточное количество. Этим фактом и обуславливается выбор породы для изготовления испытательных образцов. Плотность образцов подбиралась одинаковой, чтобы в процессе пропитки пропитывающий агент проникал в разные образцы с примерно постоянной степенью проникновения, и чтобы не появлялось грубых ошибок при дальнейших испытаниях образцов. Размеры образцов продиктованы максимальным приближением к размерам паркетных планок.

3.7. Исследование влияния метода пропитки на глубину проникновения пропитывающего агента в граничные слои древесины

Обоснованием необходимости проведения данного эксперимента является проблема выбора наиболее рационального метода пропитки с учётом следующих характеристик:

- глубины проникновения пропитывающего агента в древесину;
- затрат времени на процесс пропитки;
- сложности метода пропитки;
- стоимости метода пропитки.

Целью данного исследования является подбор такого метода пропитки и нахождения оптимальных режимов для него, что обеспечило бы наиболее рациональные показатели приведённых выше факторов. Обязательным условием этого метода пропитки и его режимов должна стать возможность обеспечивать проникновение пропитывающего агента в древесину на такую глубину, чтобы после отверждения его в древесине полученный материал обладал способностью сопротивляться смятию как минимум на $50 \text{ кг} \cdot \text{с} / \text{см}^2$.

В качестве выходного параметра при проведении этого эксперимента выбрали глубину проникновения пропитывающего агента в граничные слои древесины. В качестве исследуемых методов пропитки древесины при проведении эксперимента были выбраны:

- метод «разница температур»;
- метод «вакуум – атмосферное давление».

Пропитка методом «разница температур»

Перед экспериментом образцы высушивались до влажности $12 \pm 2 \%$ и взвешивались на весах марки «ВЛКТ-500-М». Пропитанные в отвердителе образцы древесины помещались в ванну с раствором смолы СКФП, нагретым до 80°C (рис. 3.6), и выдерживались в ней. По истечении нужного времени (35, 45, 55 мин) образцы перекладывались в раствор смолы с температурой 20°C , где они оставались в течение 35, 45 и 55 мин. После пропитки все образцы были взвешены, а затем у них рассчитывался привес по массе по формуле:

$$\Delta M = \frac{M_2 - M_1}{M_1} 100 \% ; \quad (3.11)$$

где ΔM – привес по массе, %;

M_1 и M_2 – масса образца, соответственно до и после пропитки, г.

Пропитка методом «вакуум – атмосферное давление»

Перед пропиткой образцы взвешивались и измерялись. Затем подготовленные образцы укладывались в эксикатор с раствором смолы СКФП (рис. 3.7). Продолжительность выдержки образцов под вакуумом следующая: 10, 15 и 20 минут; продолжительность выдержки при атмосферном давлении – 10, 25 и 40 минут.

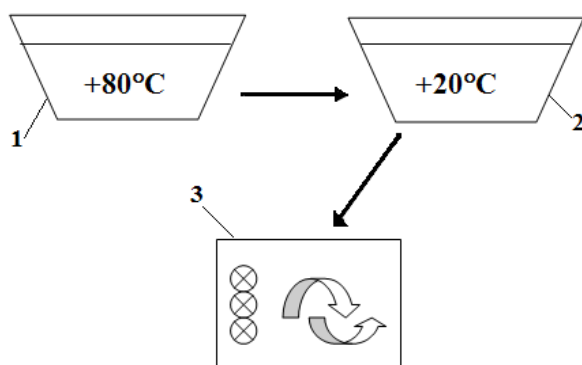


Рис. 3.6. Технологическая схема пропитки методом «разница температур»: 1 – ванна с горячим раствором; 2 – ванна с холодным раствором; 3 – сушка

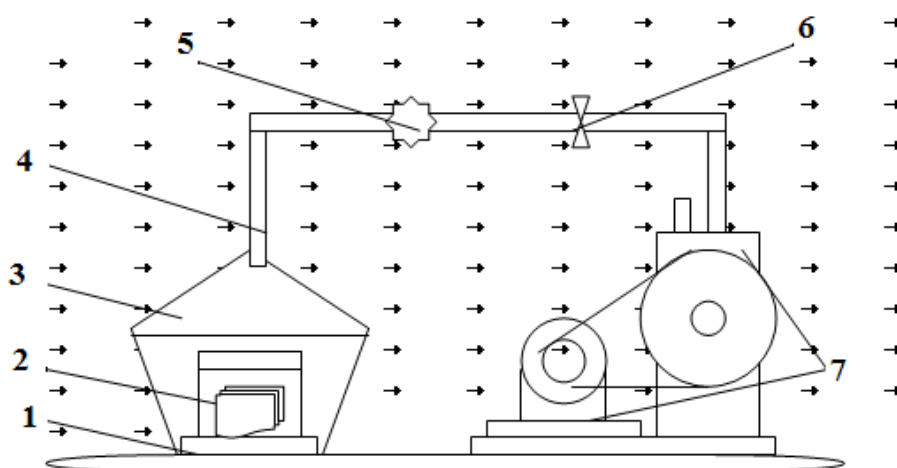


Рис. 3.7. Схема прибора для пропитки образцов методом «вакуум – атмосферное давление»: 1 – подставка; 2 – стакан с образцами и пропиточным составом; 3 – вакуум – эксикатор; 4 – вакуумный шланг; 5 – вакуумметр; 6 – вентиль; 7 – вакуумный насос

Глубина вакуума составляла 0,08 МПа. После пропитки образцы также взвешивались, а потом рассчитывался для них привес по массе по формуле (3.11).

3.8. Определение метода пропитки древесины

Принцип метода пропитки «разницы температур» подразумевает операцию нагревания пропитываемого материала в горячей ванне температурой около 80 °С. Так как в эксперименте в качестве раствора

используется смола с отвердителем, то при достижении этой температуры начнётся процесс желатинизации раствора в ванне, что является недопустимым. В связи с этим было решено применить способ раздельного нанесения отвердителя. Суть способа заключается в следующем: вначале заготовки пропитываются в растворе отвердителя, затем сушатся, а после этого пропитываются в смоле. Таким образом, можно заметно отсрочить период наступления желатинизации. Тем не менее, частицы отвердителя всё же будут попадать из образцов в смолу, и процесс желатинизации неизбежен. Интерес вызывает определение периода времени, через которое начнется этот процесс. Интервал этого времени можно определить по результатам исследований режимов пропитки древесины, приведенным в таблице 3.2.

Таблица 3.2

Результаты экспериментов по влиянию способов и режимов пропитки на степень проникновения полимера в древесину

№ опыта	Степень поглощения полимера, %				Примечание
	Разница температур		Вакуум – атмо-сферное давление		
	Берёза	Осина	Берёза	Осина	
1	6,1	5,1	6,26	5,26	При методе «разница температур» после нагревания образцов в горячей ванне в течение 50 мин начинается процесс желатинизации смолы
	7,4	6,6	8,2	8,1	
	8,59	7,9	7,41	13,3	
2	6,01	4,2	6,5	6,4	
	5,2	6,71	4,6	4,7	
	4,1	6,01	4,7	4,7	
3	6,9	5,78	5,9	5,9	
	7,6	9,1	7,6	15,6	
	7,6	4,62	8,6	10,6	
4	6,6	6,03	7,03	7,03	
	5	5,01	5,01	5	
	9,2	7,92	8,4	8,04	
5	5,1	6,4	5,1	5,03	
	6,8	8,1	8,8	12,8	
	6,2	5,01	7,8	8,8	
6	6,8	4,25	6,51	4,4	
	7,7	6,48	7,7	14,6	
	6,4	5,2	5,2	5,1	

Окончание табл. 3.2

№ опыта	Степень поглощения полимера, %				Примечание
	Разница температур		Вакуум – атмо-сферное давление		
	Берёза	Осина	Берёза	Осина	
7	8,9	8,8	8,87	8,7	
	6,8	4,8	6,8	4,8	
	7,4	8,9	7,25	10,2	
8	6,8	6,7	5,7	5,7	
	6,7	6,94	7,8	7,73	
	6,9	6,01	5	5,1	
9	6,8	5,1	7,9	7,88	
	5,1	7,94	6,88	6,9	
	8,84	7,6	8,9	9	
Среднее	6,8	6,4	6,9	7,7	

На рисунке 3.8 показан массовый привес полимера в древесине березы и осины, пропитанных рассматриваемыми методами пропитки. Из рисунка видно, что оба метода показали примерно одинаковые результаты с небольшим преимуществом метода «вакуум – атмосферное давление».

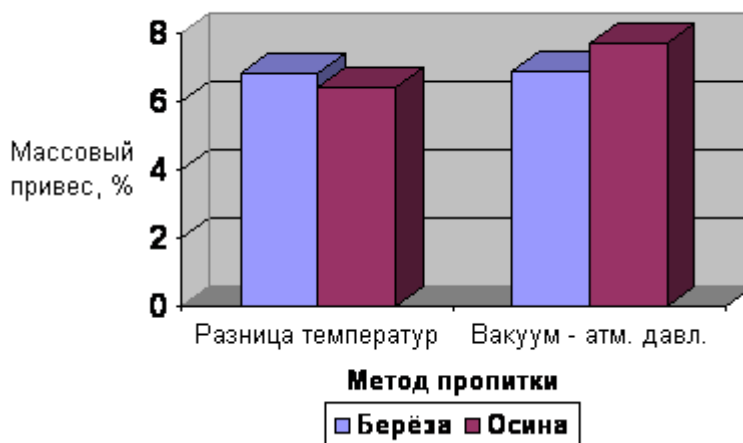


Рис. 3.8. Массовый привес полимера в древесине березы и осины

В ходе проведения эксперимента при пропитке методом «разница температур», при нагревании образцов в ванне с горячей смолой через 40 минут у смолы начала повышаться вязкость, а ещё через 15 минут начался процесс желатинизации смолы. На этом основании можно сделать вывод, что, поскольку степень проникновения

полимера при пропитке методом «разница температур» практически не отличается от метода «вакуум – атмосферное давление», то можно рекомендовать этот метод для пропитки, но для этого необходимо найти способы, устраняющие преждевременную желатинизацию смолы при нагревании в горячей ванне.

В пользу метода «разница температур» говорит и тот факт, что он обладает целым рядом достоинств – является наиболее дешёвым, простым и безопасным.

На рисунках 3.9–3.12 показаны зависимости степени проникновения полимера в зависимости от изменения режимов пропитки.

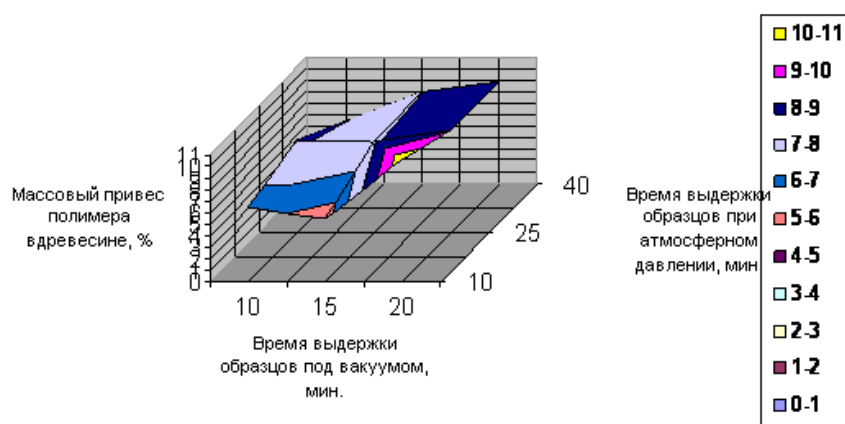


Рис. 3.9. Влияние степени проникновения полимера при пропитке осины методом «вакуум – атмосферное давление»

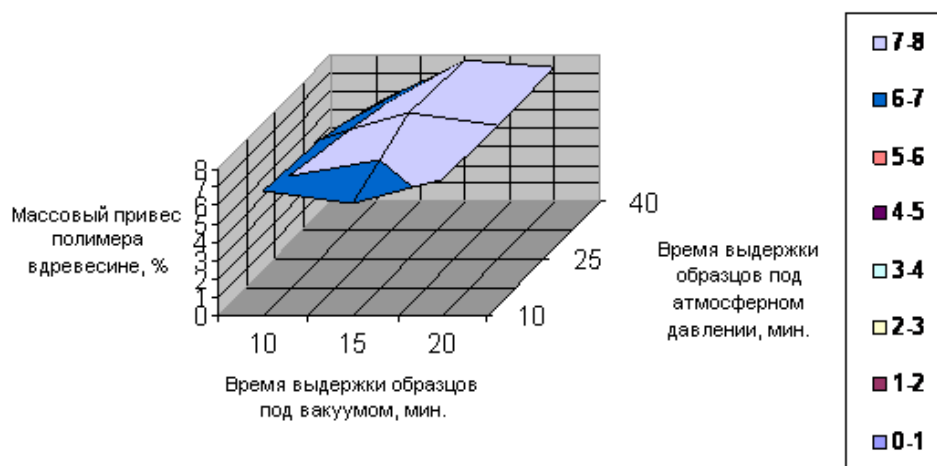


Рис. 3.10. Влияние степени проникновения полимера при пропитке березы методом «вакуум – атмосферное давление»

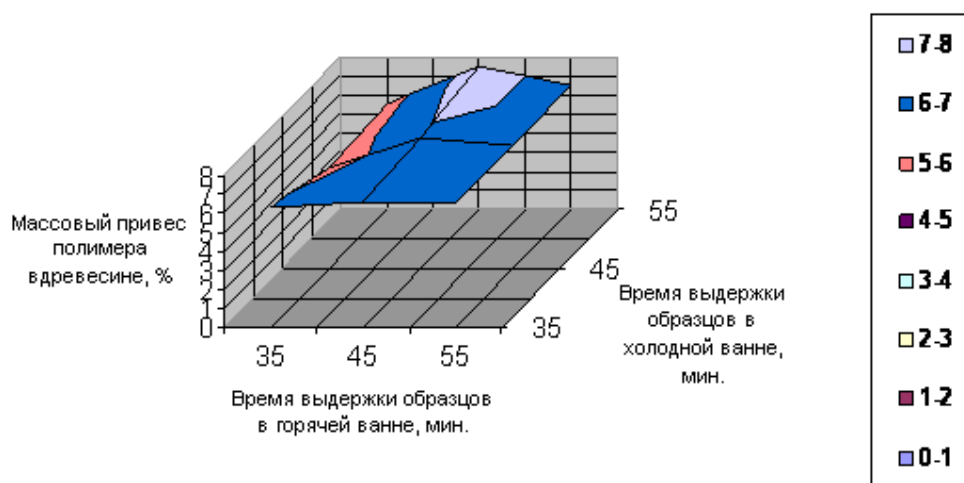


Рис. 3.11. Влияние степени проникновения полимера при пропитке осины методом «разницы температур»

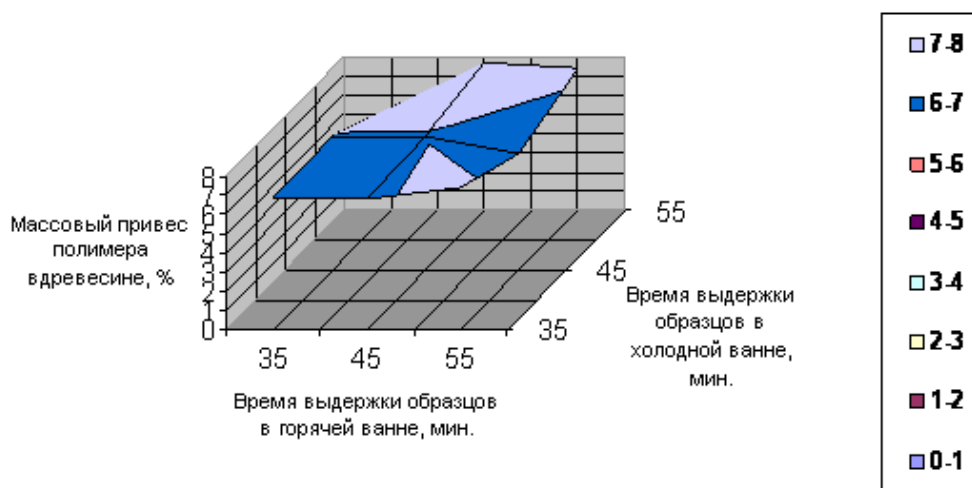


Рис. 3.12. Влияние степени проникновения полимера при пропитке березы методом «разницы температур»

Из приведённых выше зависимостей можно сделать вывод, что при пропитке древесины методом «вакуум – атмосферное давление» наибольший привес полимера по массе достигается при выдержке пропитываемого материала под вакуумом в течение 20 минут и при выдержке при атмосферном давлении от 10 до 25 минут.

При пропитке методом «разница температур» наибольший эффект по массовому привесу полимера достигается при выдержке древесины в течение 45 минут в горячей ванне и 55 минут – в холодной.

Объяснить тот факт, что наибольший привес по массе у образцов, пропитанных методом «разница температур», оказался при

45 минутах выдержки в горячей ванне можно тем, что с 40-й минуты нагревания в ванне начинает повышаться вязкость смолы, и это тормозит процесс проникновения смолы в древесину.

3.9. Исследование влияния вязкости пропитывающего агента на степень проникновения его в древесину

В таблице 3.3 приведены результаты исследований по влиянию вязкости смолы на степень её проникновения в древесину.

Таблица 3.3

Результаты экспериментов по влиянию вязкости полимера на степень проникновения его в древесину

№ опыта	Концен-трация полимера, с	Степень поглощения полимера, %			
		Разница температур		Вакуум – атмосферное давление	
		Берёза	Осина	Берёза	Осина
1	25	6,4	6,7	6,04	8,60
		5,9	6,6	6,4	7,04
		5,8	7,1	7,27	7,22
2	25	6,05	4,8	6,51	7,26
		5,2	6,3	7,02	6,71
		4,8	6,52	5,2	6,9
3	25	6,7	6,12	6,82	6,83
		5,1	7,6	7,0	6,7
		6,7	7,2	7,83	7,98
4	25	6,6	4,47	5,7	5,84
		5	5,6	5,04	7,03
		6	6,44	6,59	6,34
Среднее значение		5,8	6,28	6,45	7,03
5	15	8,65	8,87	8,90	8,92
		7,7	8,4	7,64	9,42
		7,88	7,3	8,62	8,11
6	15	6,8	7,16	8,84	7,98
		5,9	6,9	7,21	8,04
		6,9	7,94	7,78	8,61
7	15	7,2	8,16	7,9	8,91
		6,84	7,55	8,97	8,50
		8,7	8,1	8,42	8,03

Окончание табл. 3.3

№ опыта	Концентрация полимера, с	Степень поглощения полимера, %			
		Разница температур		Вакуум – атмосферное давление	
		Берёза	Осина	Берёза	Осина
8	15	6,7	8,04	7,92	8,44
		7,5	6,9	6,80	7,13
		6,9	7,16	7,84	7,88
Среднее значение		7,30	7,70	8,06	8,32

На основании приведённых выше результатов можно сделать вывод, что с уменьшением вязкости полимера наблюдается заметное увеличение массового привеса полимера с небольшим преимуществом метода «вакуум – атмосферное давление». Также нужно отметить, что показатели массового привеса полимера для образцов осины оказались несколько выше чем у берёзы. При пропитке проницаемость древесины вдоль волокон в несколько сот раз больше чем поперёк, а также чем выше вязкость пропитывающего агента, тем меньшее его количество в процентном соотношении будет проникать в древесину в направлении поперёк волокон, т. е. в пласть древесины.

На основании приведенных выводов делаем вывод, что для пропитки древесины с целью применения её в качестве лицевого покрытия паркета нужно использовать полимер с меньшей вязкостью. Ниже приведены графики, показывающие зависимость массового привеса полимера в древесине от его вязкости и режимов пропитки (рис. 3.13–3.15).

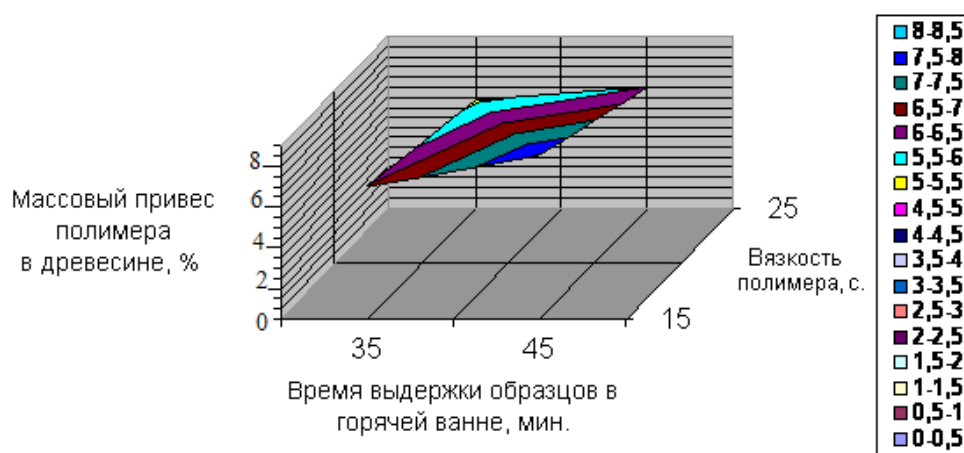


Рис. 3.13. Влияние вязкости полимера на степень его проникновения в древесину при пропитке березы методом «разница температур»

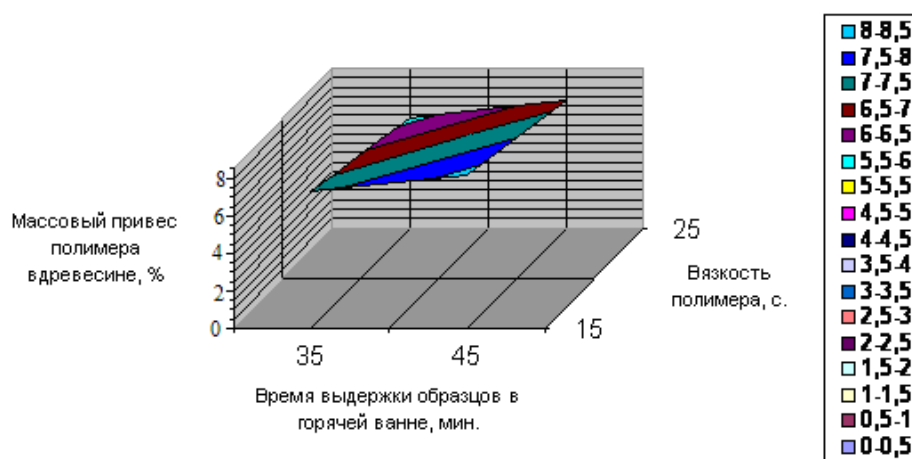


Рис. 3.14. Влияние вязкости полимера на степень его проникновения в древесину при пропитке осины методом «разница температур»

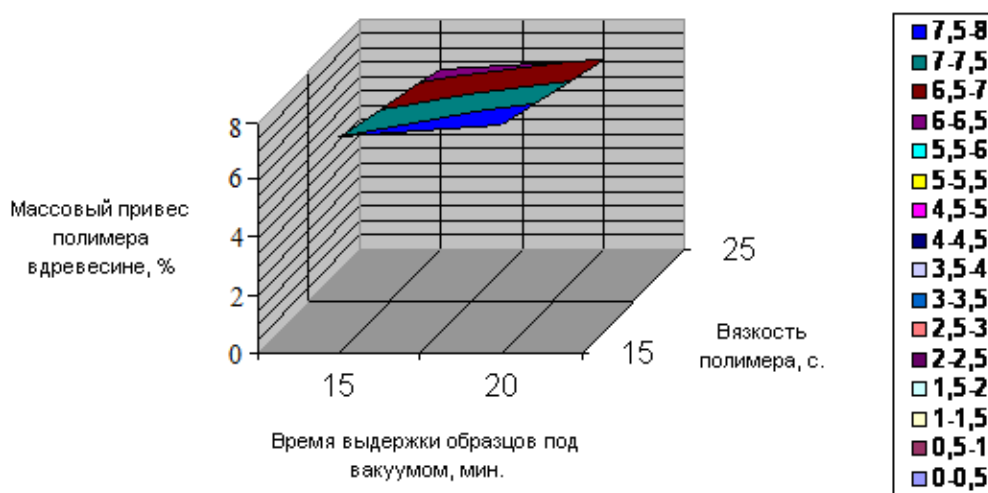


Рис. 3.15. Влияние вязкости полимера на степень его проникновения в древесину при пропитке березы методом «вакуум – атмосферное давление»

Как видно из приведенных зависимостей, при методе пропитки «разница температур» наивысшие результаты по массовому привесу полимера показали образцы, которые прогревались в горячей ванне 45 мин и в смоле вязкостью 15 с.

Для метода пропитки «вакуум – атмосферное давление» наилучшие результаты оказались у образцов, которые выдерживались под вакуумом 20 мин и в смоле вязкостью 15 с. Согласно полученным результатам, можно установить, что использовать метод пропитки

«разница температур» наиболее рационально. Вязкость пропитывающего материала должна быть не выше 20 с.

3.10. Исследование влияния массового привеса смолы в древесине на величину ее прочностных свойств

Целью данных исследований является определение минимально необходимого количества полимера, используемого для пропитки паркетных планок, чтобы при возможно меньшем расходе смолы планки обладали требуемыми прочностными свойствами.

Исходя из этого следует, что необходимо провести эксперимент по исследованию влияния количества полимера в древесине на её прочностные свойства. Для этого проводился трёхфакторный эксперимент по плану B_3 , где в качестве переменного фактора был выбран массовый привес смолы в древесине, а также два технологических режима прессования, а в качестве выходного параметра в первом случае выступала статическая твёрдость, а во втором случае – сопротивление смятию.

Как видно из опытов по исследованию влияния режимов пропитки на степень проникновения полимера в древесину, массовый привес полимера оказался в пределах от 4 до 15 %. Поскольку нас интересует наименьший предел количества полимера в древесине, то было решено исследовать значения от 4 до 7 % массового привеса смолы.

Исследовались только образцы, пропитанные смолой СПКФ вязкостью 15 с, т. к. при пропитке смолой вязкостью более 20 с наблюдается перераспределение процентного соотношения введённой в древесину смолы в большей степени вдоль волокон, что в данном случае не требуется. Результаты реализации эксперимента по испытанию образцов на статическую прочность приведены в таблице 3.4.

Как видно из таблицы 3.4, при испытаниях образцов на статическую твёрдость берёзовые образцы показали лучшие результаты по сравнению с осиновыми. Эту разницу следовало ожидать из-за более высокой природной твёрдости древесины берёзы. Также из таблицы видно, что изменение величины упрессовки образцов практически не вызывает изменения результатов их статической твёрдости. Это обуславливается тем, что в процессе испытаний пуансон вдавливался в древесину на глубину 5,64 мм, тогда как величина упрессовки составляла всего от 1 до 2 мм, что незначительно влияет на результирующее усилие вдавливания пуансона.

Таблица 3.4

Результаты реализации эксперимента по испытаниям образцов
на статическую твёрдость

№ опыта	Массо- вый при- вес, %	Время прессо- вания, мин	Статическая твёрдость (МПа) при упрессовке планок, мм					
			Берёза			Осина		
			1	1,5	2	1	1,5	2
1	4–5	4	53,8	–	56,24	42,75	–	43,99
			52,84	–	55,99	43,97	–	45,5
			53,26	–	55,47	44,68	–	44,91
2		5	–	57,38	–	–	46,84	–
			–	56,12	–	–	47,27	–
			–	56,61	–	–	47,43	–
3		6	56,8	–	53,99	45,4	–	42,74
			55,52	–	54,7	45,25	–	42,15
			56,88	–	53,61	45,2	–	43,8
4	5–6	4	–	56,44	–	–	46,72	–
			–	55,92	–	–	45,5	–
			–	56,81	–	–	47,58	–
5		5	56,1	–	54,5	45,54	–	44,3
			54,4	–	54,01	46,58	–	44,61
			56,3	–	55,1	44,38	–	44,56
6		6	166,8	56,1	–	–	46,93	–
			–	55,0	–	–	47,25	–
			–	55,7	–	–	48,3	–
7	6-7	4	56,18	–	55,4	45,17	–	47,24
			55,14	–	53,5	46,81	–	46,91
			56,38	–	54,6	46,32	–	47,15
8		5	167,7	56,19	–	–	41,91	–
			–	56,48	–	–	42,72	–
			–	55,96	–	–	42,1	–
9		6	55,6	–	55,01	46,86	126,73	45,5
			57,3	–	54,97	46,11	–	46,04
			56,6	–	55,92	46,8	–	45,56
Среднее значение			55,6	56,2	55,0	45,5	45,8	45,1

Графическое представление результатов исследований приведено на рисунках 3.16 и 3.17.

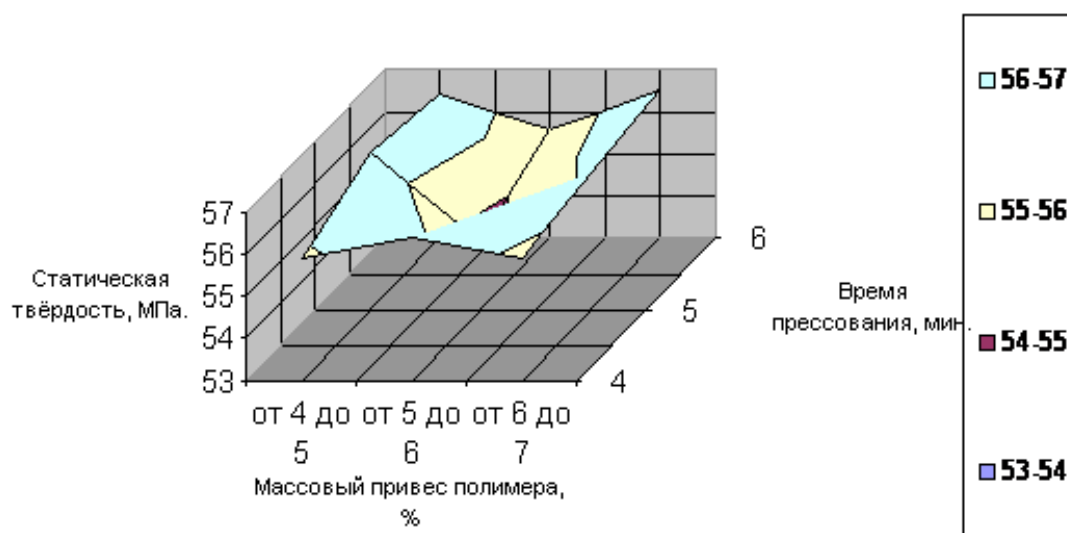


Рис. 3.16. Влияние массового привеса смолы в древесине березы и времени ее прессования на величину статической твердости

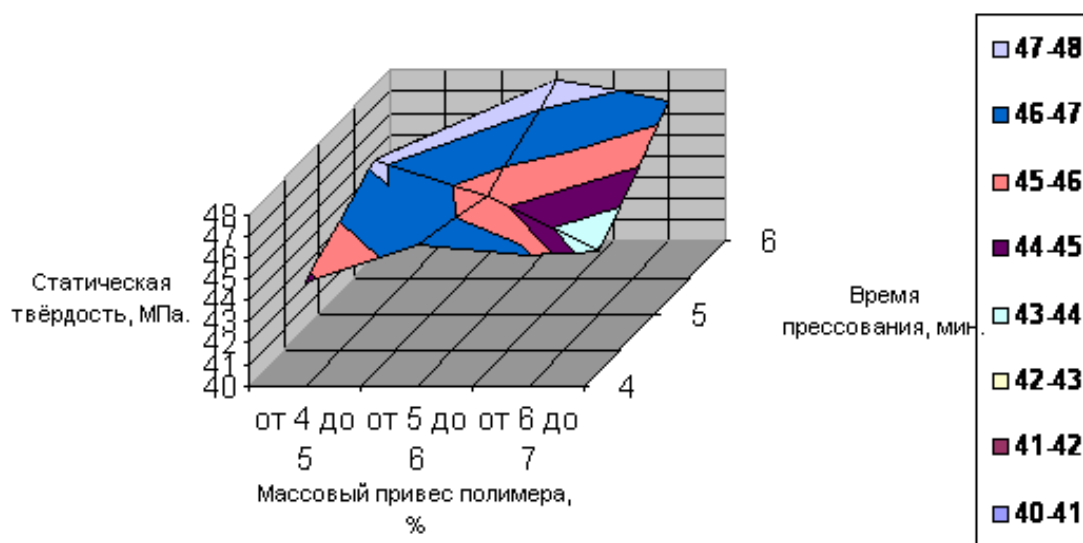


Рис. 3.17. Влияние массового привеса смолы в древесине осины и времени ее прессования на величину статической твердости

Результаты исследований по определению влияния массового привеса смолы в древесине и режимов прессования на величину сопротивления смятию приведены в таблице 3.5.

Зависимость твёрдости древесины различных пород от метода обработки приведена в таблице 3.6.

Таблица 3.5

Результаты реализации по испытаниям образцов
на статическую твёрдость, на сопротивление смятию

№ опыта	Массо- вый при- вес, %	Время прессо- вания, мин	Сопротивление смятию (Мпа) при упрессовке планок, мм					
			Берёза			Осина		
			1	1,5	2	1	1,5	2
1	4–5	4	65,17	–	60,9	50,04	–	53,7
			67,1	–	61,64	52,5	–	50,8
			66,03	–	62,4	51,36	–	52,4
2		5	–	64,14	–	–	52,6	–
			–	63,1	–	–	51,2	–
			–	63,59	–	–	52,2	–
3		6	62,21	–	66,8	49,9	–	53,5
			62,99	–	64,91	49,62	–	49,99
			61,7	–	65,72	49,58	–	51,6
4	5–6	4	–	61,77	–	–	50,66	–
			–	61,58	–	–	49,8	–
			–	61,15	–	–	51,6	–
5		5	67,25	–	64,21	48,9	–	47,7
			67,01	–	65,1	48,45	–	47,74
			67,1	–	63,02	47,98	–	47,96
6		6	–	60,0	–	–	55,6	–
			–	63,08	–	–	53,93	–
			–	61,84	–	–	52,17	–
7	6–7	4	60,5	–	59,18	46,6	–	47,7
			62,78	–	61,71	49,98	–	49,96
			61,61	–	60,01	48,32	–	48,84
8		5	–	65,5	–	–	46,5	–
			–	66,3	–	–	46,79	–
			–	66,8	–	–	47,01	–
9		6	64,99	–	62,4	51,12	–	50,6
			63,12	–	62,7	49,73	–	49,7
			64,19	–	62,7	50,44	–	50,3
Среднее значение			64,31	63,23	63,02	49,7	50,83	50,29

Анализируя данные, приведенные в таблице 3.6, можно сделать вывод, что оба метода (вакуумирование и нанесение горячей смолы на охлаждённую древесину) дали положительные результаты. Для

обоих методов на всех испытываемых образцах разных пород древесины увеличился показатель твёрдости (с небольшим преимуществом метода вакуумирования).

Таблица 3.6

Зависимость твёрдости древесины различных пород от метода обработки

Метод обработки	Твёрдость, МПа		
	Береза	Осина	Сосна
Вакуум – атмосферное давление	38,9	41,2	30,8
Разница температур	35,9	23,3	24,5
Без обработки	15,0	13,0	11,0

Для данного метода обработки древесины предложен технологический процесс ее пропитки. Преимущество такой технологии (упрочнение поверхностных слоёв заготовок и деталей без уплотнения) заключается в повышении эксплуатационных свойств конструктивных изделий (особенно щитовых деталей), противостоянии их ударным нагрузкам, царапанию, истиранию и пр.

4. ТЕРМИЧЕСКИ ОБРАБОТАННАЯ ДРЕВЕСИНА (ТМД)

Широкое применение древесины требует выполнения специальных технологических операций для ее обработки: сушки, антисептирования, обработки антипиренами, механической обработки и формирования защитно-декоративного покрытия. За рубежом и в России активно развиваются термические технологии обработки древесины, приводящие к существенному улучшению свойств древесины, что открывает новые области ее применения.

Термически обработанная древесина – инновационный материал. Такие страны, как Финляндия, Англия, Франция, Бельгия уже более 10 лет представляют его на международном рынке и продолжают научные исследования по усовершенствованию технологий его получения.

Термически обработанная древесина – это материал, обладающий новыми декоративными и технологическими свойствами, приближающимися к экзотичным африканским породам. Материал является биостойким, не содержит химических реагентов, стабилен по геометрическим параметрам при изменении влажности окружающей среды, обладает повышенной хрупкостью поверхности и имеет низкий показатель предела прочности при статическом изгибе (рис. 4.1).

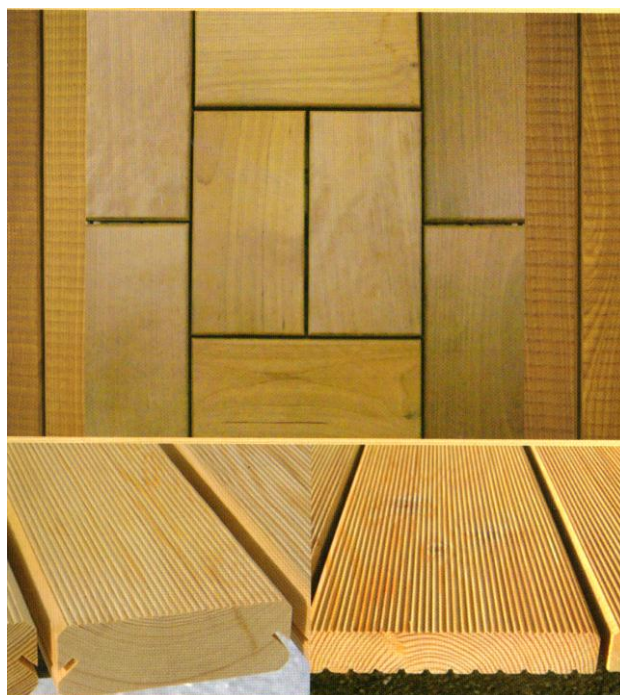


Рис. 4.1. Внешний вид термически обработанной древесины

Процессы, происходящие с древесиной в результате воздействия на нее термической обработки, вызывают существенные качественные изменения:

- удаление воды (влаги) – вода выводится в основном за счет диффузии через стенки клеток в форме пара;
- удаление экстрактивных веществ, смолы, лигнина, гемицеллюлозы.

Количество экстрактивных веществ в древесине содержится до 5 %: терпены, жиры, воски, танины, фенолы, стерины, смоляные и жирные кислоты. Они легко испаряются.

Лигнин – аморфный полимер ароматического строения. Количество его в мягких и твердых породах составляет 25–30 и 20–25 %. Основными компонентами являются спирты: фенилолпропан, транскониферерилловый, транс-синаповый, транс-пара-кумаровый, ариловый, гваяциловый, сиригилловый. При термообработке связи частично

разрушаются. Происходят термохимические реакции, самогидролиз, реакции конденсации с выходом В-кетонных групп и группы карбоновых кислот. Масса лигнина снижается.

Целлюлоза и гемицеллюлоза являются основными структурными компонентами древесины. Их удельный вес составляет 39–50 и 25–35 % соответственно.

Целлюлоза – линейный полимер, класс полисахаридов. Длина цепочки – 5000–10000 элементов глюкозы. Более короткие цепочки включают 150–200 различных моносахаридов. Гемицеллюлоза включает: D-глюкозу, D-манозу, D-галактозу, D-ксилозу L-арабинозу и малое количество кислот.

В процессе термообработки выделяется уксусная кислота служащая катализатором гидролиза гемицеллюлозы до растворимых сахаров. После удаления гемицеллюлозы снижается объем материала, чувствительного к грибам и гниению, снижается концентрация водопоглощающих гидроксильных групп, что улучшает формоустойчивость термодревесины. Разрыв цепочек целлюлозы разрушает прочность древесины, а разрыв цепочек гемицеллюлозы повышает устойчивость древесины к сжатию и снижает уровень нагрузок и упругой деформации. В процессе термической обработки в зависимости от режимных условий древесина изменяет цвет (рис. 4.2).



Рис. 4.2. Цветовая гамма некоторых пород термообработанной древесины

Изменение физико-механических свойств:

1) *плотность* у мягких пород становится больше, а у твердых – меньше. Например, у сосны увеличивается на 3 %, а у бука снижается на 2,7 %;

2) *устойчивость к деформации* термически обработанной древесины значительно понижает ее гигроскопичность. Компенсационная влажность термодревесины снижается на 50 %. Благодаря пониженной гигроскопичности, по сравнению с необработанной древесиной, наполовину снижается способность к набуханию и усыханию. Здесь действует правило: чем выше интенсивность обработки, тем выше устойчивость к деформации (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Свойства и классы прочности некоторых пород древесины^{*}

Вид древесины	Степень обработки	Класс прочности	Описание	Устойчивость к деформации
Лиственница	Необработанная	3–4	Средне-низкая долговечность	3, 4
Тик	Необработанная	1	Очень прочный	1
Акация	Необработанная	1	Очень прочный	3
Бук	Необработанная	5	Непрочный	5
Термобук	Термообработка	1 ^{**}	Очень прочный	1
Ясень	Необработанная	5	Непрочный	5
Термоясень	Термообработка	1–2 ^{***}	Очень прочный	1

^{*} Разграничения классов прочности в соответствии со стандартом ДИН 350-1.

^{**} Holzforschung-Holzverwertung 5 / J. Hanger, H. Huber, L. Lacker, J. Fellner, 2002.

^{***} HTL-Modling, akkreditierte Versuchsanstalt für Holzindustrie (2003).

Термомодификация древесины представляет собой специальную технологию термической обработки различных пород древесины, предназначенную придать древесине дополнительную устойчивость к воздействию факторов внешней среды, стабильность геометрических размеров (рис. 4.3).

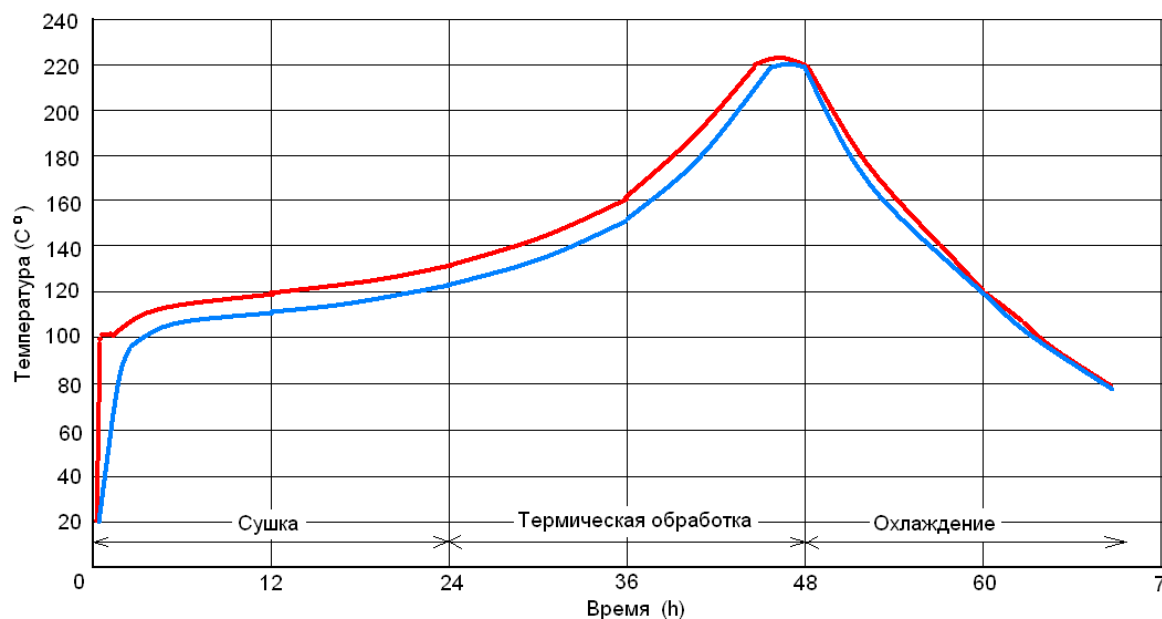


Рис. 4.3. Этапы технопроцесса термообработки

Технологический процесс создания модифицированной древесины включает в себя три этапа:

1) *гидротермоллиз* – пропарку изделий из древесины при температуре 150–190 °С под высоким давлением в 10–20 бар. Водяной пар выступает в качестве защитной среды, предотвращая растрескивание древесины, и оказывает влияние на происходящие в древесине химические процессы. Влажность древесины снижается почти до 0 %. Это позволяет произвести подготовку материала к последующей полимеризации;

2) *сушку древесины* в сушильных камерах. Является основным этапом технологического процесса. Температуру повышают согласно режиму термообработки до 185–220 °С и поддерживают неизменной в течение 2–3 часов. Водяной пар предотвращает возгорание древесины, а также оказывает влияние на происходящие в ней химические процессы;

3) *снижение температуры*, которое происходит за счет пульверизации воды. Влажность древесины выравнивают, учитывая область ее применения, обычно до 4 %.

Технологическое оборудование, применяемое для получения термообработанной древесины, изображено на рисунке 4.4.

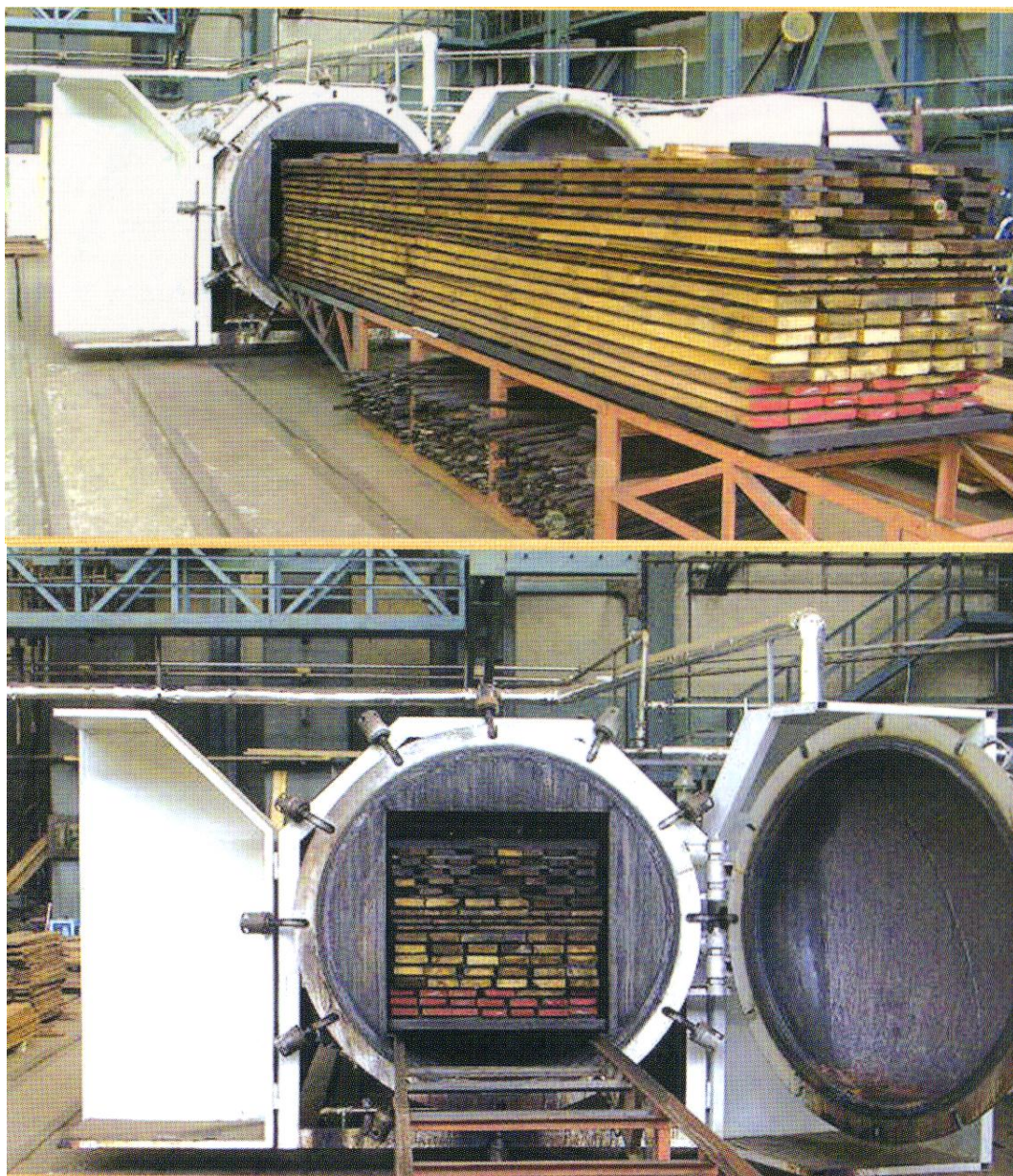


Рис. 4.4. Технологическое оборудование, применяемое для получения термообработанной древесины

Для получения дополнительной информации о термодревесине как о конструкционном материале в УГЛТУ были проведены экспериментальные исследования по определению ее физико-механических свойств [6, 45]. Исследовались заготовки, детали и образцы из термообработанной древесины следующих пород: сосны, березы, лиственницы, – влажность, которых составляла 5–7 %. Испытания проводились на механических и гидравлических машинах S-5, Р-5, МК-30А, ГМС-50, мор-Федергах. Полученные результаты представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2

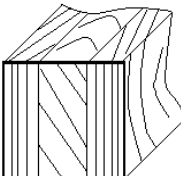
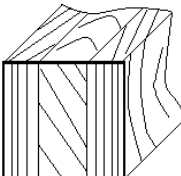

Средние показатели некоторых физико- механических свойств термодревесины с древесиной

Порода	Вид изделия и образца ТМД (схема сечения $h \times b \times l$, где h – высота, мм; b – ширина, мм; l – длина, мм)	Плотность, кг/м ³	Влажность, %	Коэффициент разбухания, % влажности			Нагрузки, кг		Предел прочности, МПа				Твердость, Н/мм ²			Модуль упругости при изгибе, МПа	Ударная вязкость при изгибе, кДж/м ²	Величина прогиба, мм	Шероховатость поверхности, мкм
				радиального	тангентального	объемного	Максимальная нагрузка до разрушения	Нагрузки текучести	при статическом изгибе	при сжатии вдоль волокон	при растяжении вдоль волокон	при скалывании вдоль волокон по плоскости		торцовая	радиальная	тангентальная			
Береза	 $14 \times 80 \times 600$	570	4,6–5	0,22	0,29	0,53	По материалу 4 200 при изгибе	По клеевому шву 1 200 при изгибе	3750	–	–	400/114	–	–	–	–	–	–	–
Сосна		350	6,9	0,12	0,25	0,42	2875 при изгибе	1040 при изгибе	2645	–	–	280/103	–	–	–	–	–	20	16
Береза	 $20 \times 75 \times 1000$	570	5	–	–	–	1100–1200 при изгибе		948	240	–	–	–	–	–	–	18,34	18	16

Продолжение табл. 4.2

Порода	Вид изделия и образца ТМД (схема сечения $h \times b \times l$, где h – высота, мм; b – ширина, мм; l – длина, мм)	Плотность, кг/м ³	Влажность, %	Коэффициент разбухания, % влажности			Нагрузки, кг	Предел прочности, МПа						Твердость, Н/мм ²			Модуль упругости при изгибе, МПа	Ударная вязкость при изгибе, кДж/м ²	Величина прогиба, мм	Шероховатость поверхности, мкм
				радиального	тангентального	объемного		Нагрузки текучести	при статическом изгибе	при сжатии вдоль волокон	при растяжении вдоль волокон	при скалывании вдоль волокон по плоскости		торцовая	радиальная	тангентальная				
Сосна	 40 x 140 x 1000	350	5,7	1	1	1	1900–2400 при изгибе	1780	80	1	1	1	1	1	1	1	1	16,2	5,10	20
Береза		570	4,6	1	1	1	2760 при изгибе	2300	92	1	1	1	1	1	1	1	1	34,18	4,3	16
Сосна		350	7				740–560 при изгибе	674	148	1	1	1	1	1	1	1	1	16,2	5,5	21
Береза		570	4,6				2760 при изгибе	2300	92									34,18	4,3	16
Сосна		350	5,7				1900–2400 при изгибе	1780	80									16,2	5,10	20
Береза		570	4,6				2760 при изгибе	2300	92									34,18	4,3	16
Сосна		350	7				740–560 при изгибе	674	148									16,2	5,5	21
Береза		570	4,6				2760 при изгибе	2300	92									34,18	4,3	16
Сосна		350	5,7				1900–2400 при изгибе	1780	80									16,2	5,10	20
Береза		570	4,6				2760 при изгибе	2300	92									34,18	4,3	16

Продолжение табл. 4.2

Порода	Вид изделия и образца ТМД (схема сечения $h \times b \times l$, где h – высота, мм; b – ширина, мм; l – длина, мм)	Плотность, кг/м ³	Влажность, %	Коэффициент разбухания, % влажности			Нагрузки, кг	Предел прочности, МПа						Твердость, Н/мм ²			Модуль упругости при изгибе, МПа	Ударная вязкость при изгибе, кДж/м ²	Величина прогиба, мм	Шероховатость поверхности, мкм
				радиального	тангентального	объемного		Нагрузки текучести	при статическом изгибе	при сжатии вдоль волокон	при растяжении вдоль волокон	при скалывании вдоль волокон по плоскости	радиальной	тангентальной	торцовая	радиальная	тангентальная			
Береза	 80 x 80 x 1500	570	6,1	—	—	—	1840 при изгибе	1560	59	—	—	—	—	—	—	—	—	18,34	5	63
Сосна	 80 x 80 x 1500	350	3,8	—	—	—	2380 при изгибе	2050	70	—	—	—	—	—	—	—	—	16,2	8	75
Береза	ТМД  50 x 50 x 50	570	5,4	—	—	—	450–500 на сжатие	—	—	—	—	—	—	—	—	41,4	36,3	44,4	—	16

Продолжение табл. 4.2

Порода	Вид изделия и образца ТМД (схема сечения $h \times b \times l$, где h – высота, мм; b – ширина, мм; l – длина, мм)	Плотность, кг/м ³	Влажность, %	Коэффициент разбухания, % влажности			Нагрузки, кг	Предел прочности, МПа					Твердость, Н/мм ²		Модуль упругости при изгибе, МПа	Ударная вязкость при изгибе, кДж/м ²	Величина прогиба, мм	Шероховатость поверхности, мкм
				радиального	тангентального	объемного		Нагрузки текучести	при статическом изгибе	при сжатии вдоль волокон	при растяжении вдоль волокон	при скалывании вдоль волокон по плоскости	торцовая	радиальная	тангентальная			
Лист-венница	 20 x 20 x 30	550	3,5	—	—	—	1950–2200 на сжатие	—	—	73	—	—	—	—	—	—	—	63
Сосна		350	4,6	—	—	—	1650–1800 на сжатие	—	—	48–50	—	—	—	—	—	—	—	20
Береза		570	3,8	—	—	—	1800–1855 на сжатие	—	—	68	—	—	—	—	—	—	—	18
Сосна		350	4,6	—	—	—	1650–1800 на сжатие	—	—	48–50	—	—	—	—	—	—	—	20
Сосна		350	6,0	—	—	—	330–358 на сжатие	—	—	—	—	—	—	33,3	26,5	29,2	—	19

Продолжение табл. 4.2

Порода	Вид изделия и образца ТМД (схема сечения $h \times b \times l$, где h – высота, мм; b – ширина, мм; l – длина, мм)	Плотность, кг/м ³	Влажность, %	Коэффициент разбухания, % влажности			Нагрузки, кг	Предел прочности, МПа					Твердость, Н/мм ²			Модуль упругости при изгибе, МПа	Ударная вязкость при изгибе, кДж/м ²	Величина прогиба, мм	Шероховатость поверхности, мкм
				радиального	тангентального	объемного		Нагрузки текучести	при статическом изгибе	при сжатии вдоль волокон	при растяжении вдоль волокон	при скалывании вдоль волокон по плоскости	торцовая	радиальная	тангентальная				
Лист-венница		550	3,1	–	–	–	400 на скалывание	–	–	–	–	11,3	–	–	–	–	–	–	–
Сосна		350	3,2	–	–	–	250–330 на скалывание	–	–	–	–	7,1	–	–	–	–	–	–	–
Береза		570	4,1	–	–	–	380–390 на скалывание	–	–	–	–	10,4	–	–	–	–	–	–	–
Береза		570	3,2–4,3	–	–	–	390–425 на изгиб	295	143	–	–	–	123,4	–	–	–	18,34	3,1	22
Сосна		350	3,2	–	–	–	355–410 на изгиб	273	119	–	–	–	66,3	–	–	–	16,2	4,5	26
Сосна		550	3,1	–	–	–	400 на скалывание	–	–	–	–	10,9	–	–	–	–	–	–	–

Порода		Лист- венница	Лист- венница	Сосна	Береза
Вид изделия и образца ТМД (схема сечения $h \times b \times l$, где h – высота, мм; b – ширина, мм; l – длина, мм)			Традиционная древесина		
Плотность, кг/м ³	550	540	505	640	
Влажность, %	2,8–3,0	12	12	12	
	радиального	0,20	0,18	0,29	
	тангентального	0,38	0,31	0,34	
объемного	0,60	0,60	0,51	0,65	
Нагрузки, кг	400–450 на изгиб	–	–	–	–
Предел прочности, МПа	Нагрузки текучести	368	–	–	–
	при статическом изгибе	157	108	84	109
	при сжатии вдоль волокон		61	46	54
	при растяжении вдоль волокон		124	102	136
	при скалы- вании вдоль во- локон по плоскости	радиальной	9,7	7,4	9,0
		тангентальной		7,2	10
Твердость, Н/мм ²	торцовая	74,6	53	41	92
	радиальная		42	28	46
	тангентальная		31	22	35
Модуль упругости при изги- бе, МПа		33	23	32	
Ударная вязкость при изгибе, кДж/м ²		14	12	14	
Величина прогиба, мм		–	–	–	–
Шероховатость поверхности, мкм		–	–	–	–

Анализ полученных результатов испытанных образцов термодревесины при сравнении с обычной древесиной говорит о том, что у такой древесины:

- 1) снижается способность к поглощению влаги (адсорбция), разбухание и усадка примерно на 40–50 %;
- 2) уменьшается твердость, что следует учитывать при расчетах конструкций на прочность;
- 3) стабилизируются прочностные характеристики и линейные размеры;
- 4) улучшается качество поверхности;
- 5) снижается прочность на изгиб;
- 6) уменьшается смачиваемость.

Учитывая полученные данные (табл. 4.2) и основные характеристики рассматриваемого материала, приведенные в таблице 4.3, можно рекомендовать древесину, прошедшую термообработку, использовать для производства паркета, мебели, внешней отделки домов, а также для изготовления оконных и дверных блоков (рис. 4.5).

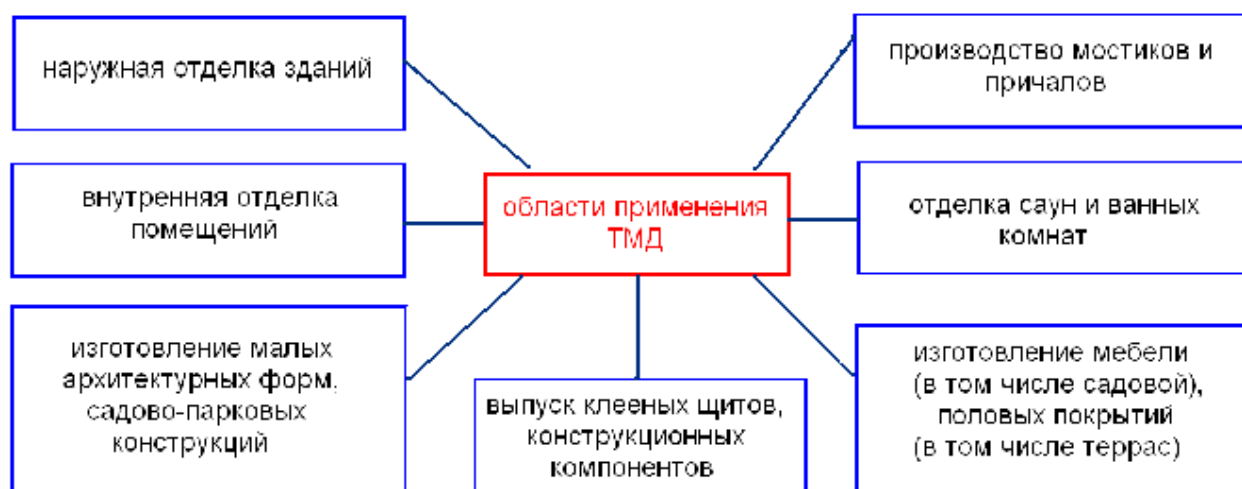


Рис. 4.5. Области применения термически обработанной древесины

На основании приведенных исследований можно сделать вывод, что термомодификация древесины придает новые декоративные и технологические свойства породам, произрастающим в Уральском регионе.

Таблица 4.3

Некоторые характеристики термообработанной древесины

Наименование параметров	Береза	Сосна
Устойчивость к воздействию факторов внешней среды и биоповреждениям	+	+
Уничтожение биоповреждающих агентов	++	++
Снижение теплопроводности	+	+
Увеличение стабильности геометрических размеров	+	+
Снижение равновесной влажности	+	+
Уменьшение массы	+	+
Окрашивание	+	+
Прочность на изгиб	--	--

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Созданию композиционных материалов на основе древесины и древесных частиц посвящена данная монография. В работе предлагается широкая гамма композиционных материалов, разработанных на кафедре механической обработки древесины и производственной безопасности ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет».

Материал «Фанотрен» – это композиционный материал, состоящий из армирующих слоев, выполняющих роль рентгенозащиты, и слоев лущеного шпона, придающих эстетичность и универсальность материалу, а также усиливающих его прочностные показатели в целом.

Особенность этого материала в том, что в его состав не входит токсичный свинец, требующий особой утилизации при эксплуатации. Проведенные исследования на физико-механические и защитные свойства показали следующее: предел прочности при статическом изгибе – 39 МПа, предел прочности при скалывании по клеевому слою – 1,34 МПа, свинцовый эквивалент – 0,54 мм Pb/мм. Материал предполагается использовать в строительстве и отделке помещений с повышенным радиационным фоном, элементах мебели и защитных экранах, ширмах и т. д.

Конструкция древесно-минерального теплоизоляционного материала изготовлена на основе мелких древесных и растительных отходов в широком влажностном диапазоне с использованием в качестве связующего жидкого стекла с добавлением инициатора отверждения (гексафтористого натрия). Коэффициент теплопроводности полученного материала составляет порядка 0,09. Полученный материал транспортабелен и достаточно прочен при сравнительно небольшой плотности 250–300 кг/м³. Предлагаемый теплоизоляционный материал на основе отходов древесины биостоек, экологически чист, более огнестоек по сравнению с массивной древесиной, поэтому его можно рекомендовать для использования в малоэтажном домостроении для теплоизоляции межкомнатных перегородок.

Исследования по модификации древесины традиционных уральских пород (березы, осины) с целью изготовления из них паркета проводились двумя методами: методом «разница температур» и методом «вакуум – атмосферное давление». Образцы пропитывались смолой СКФП с добавлением отвердителя (хлористого аммония). По показателю твердости оба метода, как вакуумирование, так и нанесение

горячей смолы на охлаждённую древесину дали положительные результаты с небольшим преимуществом метода «вакуум – атмосферное давление».

Проведенные исследования по термомодификации древесины сосны, березы и лиственницы свидетельствует, что у такой древесины снижается способность к поглощению влаги (адсорбция), разбухание и усадка примерно на 40–50 %; уменьшается твердость; стабилизируются прочностные характеристики и линейные размеры; улучшается качество поверхности; снижается прочность на изгиб и уменьшается смачиваемость.

Рекомендовать древесину, прошедшую термообработку, можно для производства паркета, мебели, внешней отделки домов, а также для изготовления оконных и дверных блоков.

В работе также рассмотрены вопросы технологии изготовления разработанных композиционных материалов на основе древесины и древесных частиц в условиях промышленного производства. Все рассматриваемые материалы изготавливаются согласно типовых технологических схем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ветошкин Ю.И., Яцун И.В., Чернышев О.Н. Конструкции и эксплуатационно-технологические особенности композиционных рентгенозащитных материалов на основе древесины. Екатеринбург: УГЛТУ, 2009. 148 с.
2. Куликов В.А. Производство фанеры. М.: Лесная промышленность, 1976. 368 с.
3. Ветошкин Ю.И., Горшунова Н.Д., Глазырин В.В. Рентгенозащитный слоистый материал: отчет о патентных исследованиях. Екатеринбург: УГЛТУ, 2001. 85 с.
4. Беляев Н.М. Сопротивление материалов. М.: Наука, 1965. 856 с.
5. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962. 536 с.
6. Ицкевич Г.М. Сопротивление материалов. М.: Высшая школа, 1998. 368 с.
7. Сидоров В.Н. Лекции по сопротивлению материалов и теории упругости. М.: РИЦ Генерального штаба Вооруженных Сил РФ, 2002. 352 с.
8. Бойтемиров Ф.А., Головина В.М., Улицкая Э.М. Расчет конструкций из дерева и пластмасс. М.: Академия, 2006. 157 с.
9. Уголев Б.Н. Испытания древесины и древесных материалов. М.: Лесная промышленность, 1965. 250 с.
10. Древесина слоистая клееная. Отбор образцов и общие требования при испытании: ГОСТ 9620-72. Введ. 01.07.73. М.: Изд-во стандартов, 1978. 3 с.
11. Древесина слоистая клееная. Метод определения предела прочности и модуля упругости при статическом изгибе: ГОСТ 9625-88 (СТ СЭВ 2378-80). Введ. 01.01.88. М.: Изд-во стандартов, 1987. 7 с.
12. Древесина слоистая клееная. Методы определения физических свойств: ГОСТ 9621-88. Введ. 01.07.73. М.: Изд-во стандартов, 1988.
13. Древесина слоистая клееная. Метод определения предела прочности при скалывании: ГОСТ 9625-09. Введ. 01.01.10. М.: Изд-во стандартов, 2009. 10 с.
14. Голубев Б.П. Дозиметрия и защита от ионизирующего излучения. Л.: Государственное энергетическое изд-во, 1963. 336 с.

15. Аглинцев К.К. Дозиметрия ионизирующих излучений. М.: Техничко-техническая литература, 1957. 503 с.
16. Чубинский А.Н. Формирование клеевых соединений древесины. СПб.: Санкт-Петербургский ун-т, 1992. 164 с.
17. Жуков В.П. Технология склеивания древесины. Воронеж: Изд-во Воронежского ун-та, 1981. 80 с.
18. Мурзин В.С. Клеи и процесс склеивания древесины. Воронеж: Воронежский лесотехн. ун-т, 1993. 90 с.
19. Ковальчук Л.М. Технология склеивания. М.: Лесн. промышленность, 1973. 208 с.
20. Качалин Н.В. Справочник по производству фанеры. М.: Лесная промышленность, 1984. 430 с.
21. Кириллов А.Н., Карасев Е.И. Технология фанерного производства. М.: Лесная промышленность, 1974. 312 с.
22. Справочное пособие по производству фанеры / Ю.В. Васячкин, А.Д. Валягин, В.П. Сергеев, Р.Р. Оберман. М.: Экология, 1993. 288 с.
23. Кинлок Э. Адгезия и адгезивы: Наука и технология. М.: Мир, 1991. 484 с.
24. Басин В.Е. Адгезионная прочность. М.: Химия, 1981. 208 с.
25. Горбаткина Ю.А. Адгезионная прочность в системах полимер – волокно. М.: Химия, 1987. 192 с.
26. Армированные полимерные материалы: сборник переводов и обзоров с иностранной периодической литературы / под ред. З.А. Роговина, П.М. Велецкого, М.Л. Кебера. М.: Мир, 1968. 244 с.
27. Волинский В.Н. Технология клееных материалов. Архангельск: Изд-во Арханг. гос.техн. ун-т, 1998. 229 с.
28. Общий подход к расчету напряженного деформированного состояния композиционного слоистого материала «Фанотрен»а Б с защитными свойствами от рентгеновского излучения / С.А. Одинцева, Ю.И. Ветошкин, И.В. Коцюба, И.В. Яцун // Лесной вестник: Вестн. Моск. ун-та. 2007. № 8. С. 149–152.
29. Одинцева С.А., Исаков С.Н., Яцун И.В. Анализ напряженно-деформированного состояния слоистого материала специального назначения на основе древесины // Деревообрабатывающая промышленность. 2017. № 4. С. 34–40.
30. Ветошкин Ю.И., Одинцева С.А., Коцюба И.В. Напряженно-деформированное состояние слоистого материала // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы

III Всероссийск. науч.-техн. конф. Екатеринбург: УГЛТУ, 2007. Ч. 1. С. 143–145.

31. Особенности физико-механических свойств композиционного защитного материала / Ю.И. Ветошкин, С.А. Одинцева, И.В. Коцюба, Г.Г. Говоров, А.Н. Ильичева, А.С. Зайцев // Урал промышленный – Урал полярный: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса: сборник материалов VI Междунар. научн.-техн. конф. Екатеринбург: УГЛТУ, 2007. С. 150–153.

32. Ветошкин Ю.И. Одинцева С.А., Коцюба И.В. Поисковые решения состава компонентов по защитным свойствам композиционного слоистого материала «Фанотрен» Б // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: мат-лы IV Всероссийск. науч.-техн. конф. Екатеринбург: УГЛТУ, 2008. Ч. 1. С. 113–115.

33. Одинцева С.А., Ветошкин Ю.И., Коцюба И.В. Защитные свойства композиционного слоистого рентгенозащитного материала «Фанотрен» Б // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: мат-лы V Всероссийск. науч.-техн. конф. Екатеринбург: УГЛТУ, 2009. Ч. 1. С. 161–163.

34. Одинцева С.А., Ветошкин Ю.И., Яцун И.В. Некоторые сведения о слоистых композитах. Оценка защитных свойств слоистого композиционного материала «Фанотрен» Б // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: мат-лы VII Всероссийск. науч.-техн. конф. Екатеринбург: УГЛТУ, 2011. Ч. 1. С. 232–235.

35. Композиционный слоистый материал: пат. 125518 Рос. Федерация № 2011115495, МПК G21F1/12 / Ю.И. Ветошкин, С.А. Одинцева, И.В. Яцун, И.В. Коцюба; заявитель и патентообладатель: ГОУ ВПО «УГЛТУ».

36. Мельниченко И.С., Говоров Г.Г., Ветошкин Ю.И. Древесные отходы как сырьё для получения теплоизоляционных материалов // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: мат-лы VIII Всероссийск. науч.-техн. конф. Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. Ч. 1. 387 с.

37. Ветошкин Ю.И., Говоров Г.Г., Корюкова Ю.А. К вопросу об утилизации мелких древесных отходов // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды III Междунар. евразийск. симпозиума. Екатеринбург, УГЛТУ, 2008.

38. Ветошкин Ю.И., Говоров Г.Г., Чернышев О.Н., Газеев М.В. Теплоизоляционный материал для малоэтажного строительства на основе растительных и древесных отходов // Современные проблемы лесозаготовительных производств, производства материалов и

изделий из древесины: пиломатериалы, фанера, плиты, деревянные дома заводского изготовления, столярно-строительные изделия. Т. 1. СПб: НЦО МТД, 2009. С. 91–95.

39. Ветошкин Ю.И., Говоров Г.Г., Газеев М.В. Теплоизоляционный материал для малоэтажного строительства на основе растительных и древесных отходов // Научно-практические проблемы развития Уральской деревни: межвузовский сборник научных статей: мат-лы межвузовск. науч.-практич. конф. «Роль вузовской науки и образования в реализации программы «Уральская деревня». Екатеринбург: Изд-во УрГСХА, Уральское изд-во, 2009. С. 158–164.

40. Лангендорф Г., Айхлер Х. Облагораживание древесины. М.: Лесная промышленность, 1982. 143 с.

41. Чубов Н.И. Металлизированная прессованная древесина. Воронеж: ВГУ, 1975. 136 с.

42. Анненков В.Ф. Древесно-полимерные материалы и технология их получения. М.: Лесная промышленность, 1974. 88 с.

43. Ветошкин Ю.И., Говоров Г.Г., Антонов А.Г. Использование модифицированной древесины мягких лиственных пород для изготовления штучного паркета // Технология древесных плит и пластиков. Екатеринбург: УГЛТУ, 1997.

44. Ашкенази Е.К., Ганов Э.В. Анизотропия конструкционных материалов: справочник. Л.: Машиностроение, 1980. 247 с.

45. Древесина. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики: ГОСТ 7016-82. М.: Изд-во стандартов, 1982. 12 с.

Научное издание

Юрий Иванович Ветошкин

Ирина Валерьевна Яцун

Иван Васильевич Коцюба

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСИНЫ

ISBN 978-5-94984-684-1



Редактор К.В. Смирнова
Оператор компьютерной верстки О.А. Казанцева

Подписано к использованию 20.11.2018

Формат 60х84 1/16

Уч.-изд. л. 4,94

Усл. печ. л. 5,81

Тираж 500 экз. (Первый завод 35 экз.)

Заказ №

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»
620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37
Тел.: 8(343)262-96-10. Редакционно-издательский отдел

Типография ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЦЕНТР УПИ»
620062, РФ, Свердловская область, Екатеринбург, ул. Гагарина, 35а, оф. 2
Тел.: 8(343)362-91-16